

GEBNISSE UND PROBLEME DER NATURWISSENSCHAFT

VON

BERNHARD BAVINK

ZWEITE AUFLAGE



S. HIRZEL / LEIPZIG / 1921

Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaft

Eine Einführung in die moderne Naturphilosophie

von

Bernhard Bavink

Zweite, vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage
Mit 65 Abbildungen



Verlag von S. Hirzel in Leipzig 1921

Meiner lieben Frau Hertha

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

(Zugleich Einleitung.)

Die folgenden Darlegungen sind ein Versuch, diejenigen Probleme des modernen Geisteslebens, welche man unter dem Namen „Moderne Naturphilosophie" zusammenzufassen pflegt, in dem Zusammenhange zu entwickeln, wie sie sich aus der heutigen Natur**wissenschaft** ergeben. Die moderne Naturphilosophie unterscheidet sich sehr wesentlich von ihrer Vorgängerin, der Schelling-Hegelschen Naturphilosophie unseligen Angedenkens, dadurch, daß sie nicht, wie diese, im leeren Raum der Phantasie Gedankenkonstruktionen a priori ausführt, von denen dann behauptet wird, daß sie die wirkliche Welt aus der Natur der Vernunft heraus sozusagen neu geschaffen hätten, sondern, daß sie im engsten Anschluß an die Forschungen der Naturwissenschaft selbst diejenigen allgemeinen Probleme behandelt, die unmittelbar aus dieser Forschung erwachsen. Wenn Philosophie definiert werden kann als das Streben nach dem Allgemeinen schlechthin, so ist Naturphilosophie das Streben nach Erkenntnis desjenigen Allgemeinen, was der Naturwissenschaft zugrunde liegt oder sich aus ihr ergibt. Nach beiden Richtungen hin liegt eine Aufgabe. Die erste bezeichnet den Inhalt der naturwissenschaftlichen Erkenntnistheorie. Diese hat zu untersuchen das Wesen der Naturerkenntnis als solcher; sie fragt, welche Voraussetzungen diesem Erkennen (wie eventuell allem Erkennen überhaupt) zugrunde liegen, mit welchen Mitteln es fortschreitet, welchen Zielen es zustrebt, und welches eventuell seine Grenzen sind. Die andere Richtung bezeichnet den Gesamtinhalt dessen, was wir den „Einfluß der Naturwissenschaften auf die Weltanschauung" nennen. Es wird hier, gegebenenfalls unter Bezugnahme auf das erkenntnistheoretisch Festgestellte, zu untersuchen sein, in welcher Beziehung das Naturerkennen zu anderen Kulturgebieten und dem sich aus allen gemeinsam zusammenfügenden Geistesleben der Menschheit, insonderheit zur Kunst, Religion, Sittlichkeit steht, eine Aufgabe, die in

gegenwärtiger Zeit, obwohl sie schon so vielfach in Angriff genommen worden ist, doch noch immer als eine der dringendsten überhaupt angesehen werden muß.

Beide Seiten der modernen Naturphilosophie werden nun im folgenden zur Geltung kommen, jedoch werden wir hier einen Weg einschlagen, der bislang noch nicht sehr oft, und wenn, dann vielfach mit wenig glücklichem Erfolge, beschritten worden ist. Es soll hier nämlich nicht sogleich in philosophischer Allgemeinheit sowohl das erkenntnistheoretische, wie das — sit venia verbo: metaphysische Gebiet in Angriff genommen werden, sondern ich werde überall von der Naturwissenschaft selbst ausgehend den Weg zu allgemeineren Fragestellungen zu zeigen suchen. Wir haben so den Vorteil, daß wir, auf dem sicheren Boden anerkannter naturwissenschatflicher Wahrheiten stehend, nicht genötigt sind, mit einem „Standpunkt" anzufangen (womit man nach Bräsig bekanntlich besser aufhört). Hierfür muß allerdings der Preis gezahlt werden, daß das Ganze sich nicht in der geschlossenen Form einer systematischen philosophischen Untersuchung präsentiert, sondern die Fragen in der Ordnung vorgeführt werden müssen, wie sie sich aus der Naturwissenschaft und ihrer Systematik ergeben. Wenn dabei dann dasselbe Problem vielleicht mehrere Male auftaucht, so bitte ich demnach diese Wiederholung durch die Art unseres Vorgehens entschuldigen zu wollen. — Ferner wird es verständlich sein, daß ich hier keineswegs auf alle naturphilosophischen Fragen in allen Einzelheiten eingehen konnte.

Durch die auferlegte Beschränkung hoffe ich indes gerade dem eigentlichen Zwecke dieses Buches gedient zu haben, nämlich einem weiteren Leserkreise, vor allem aber meinen Fachgenossen eine „Einführung" in die heutige Naturphilosophie in rein sachlicher Form, also einen Gesamtüberblick über das in Rede stehende Gebiet zu verschaffen.

Die Anordnung des Stoffes ergibt sich aus dem Dargelegten von selbst. Die anorganische Naturwissenschaft macht den Anfang, es folgt die Biologie, zuletzt die Anthropologie. Daß dabei in der Physik die erkenntnistheoretischen, in der Biologie die Weltanschauungsfragen dominieren, liegt in der Natur der Sache. Die Physik und Chemie bilden heute bereits ein so einheitliches, in sich selbst festgefügtes Erkenntnissystem, daß eben diese ihre Struktur selbst ein deutlich in die Augen fallendes Problem ist. Wie ist sie zustande gekommen? Worauf will das hinaus? usf. — das sind

die erkenntnistheoretischen Fragen, die sich einem jeden unwillkürlich aufdrängen, der ein wenig tiefer über die moderne physikalisch-chemische Forschung nachdenkt. — In der Biologie hingegen überwiegt das Interesse an den Ergebnissen der Forschung selbst. Es genügt, dazu Stichwörter wie Vitalimus, Deszendenzlehre u. a. m. anzuführen, um zu verdeutlichen, daß hier unmittelbare Beziehungen zwischen Wissenschaft und Weltanschauung wenigstens zu bestehen scheinen. Ob und in welchem Grade das wirklich der Fall ist, das eben ist wieder eine der Hauptfragen der heutigen Naturphilosophie. — — — — — —

Synthese mag als die eigentliche Tendenz dieser Arbeit angesehen werden. Nicht nur in dem (vorbenannten) Sinn einer Synthese des Wertvollen, das sich in den verschiedenen, teilweise sich bekämpfenden Richtungen findet, sondern auch in dem einer Vereinigung der heute so weit schon auseinanderliegenden Einzeldisziplinen der Naturwissenschaft zu einem Gesamtbilde. Vielleicht darf man es geradezu als Hauptgrund für die Notwendigkeit einer Naturphilosophie neben der Naturwissenschaft bezeichnen, daß unser wissenschaftliches Leben ohne sie leicht nicht nur in sich selbst in Atome zersprengt, sondern auch unfähig werden würde, den Zusammenhang mit dem Ganzen unseres Kulturlebens zu bewahren. Die unerhörten Fortschritte auf allen Forschungsgebieten, welche offenbar gemäß einem immanenten Gesetz nach Art einer Exponentialfunktion immer schneller anwachsen, das fast unglaubliche Raffinement der Methoden, die absolute Unmöglichkeit daher, auch nur ein einzelnes der Gebiete, etwa die Physik oder die Chemie, in allen Einzelheiten zu beherrschen, haben zu einer Arbeitsteilung, einer Spezialisierung gezwungen, die man beklagen mag, ohne die aber ein weiterer Fortschritt nicht mehr möglich ist. Gerade in den letzten 20—30 Jahren hat dieser Prozeß so reißende Fortschritte gemacht, daß schon vielen unserer hervorragendsten Forscher selbst, die noch von der alten Zeit her, allmählich mit der Wissenschaft gewachsen, einen überragenden Standpunkt einnehmen, es bange geworden ist, wie das in Zukunft weitergehen soll. Da ist die Naturphilosophie der gegebene Ort für eine Synthese des Mannigfaltigen. Es liegt in ihrem Wesen, daß sie aus dem von Jahr zu Jahr sich vermehrenden Forschungsmaterial aller Gebiete sich dasjenige heraussuchen und herausschälen muß, was von prinzipieller Wichtigkeit und was besonders typisch für ein bestimmtes Gebiet, eine bestimmte Methode ist. Denn eben dies ist es ja, was die erkenntnistheo-

retische Fragestellung und ihre Antwort bedingt, und was auf die Weltanschauung von Einfluß werden kann. Es kann dem Philosophen ewig einerlei sein, ob der Antimonglanz rhombisch oder monoklin kristallisiert, und ob der Mensch 33 oder 34 Wirbel hat usw. Die einzelne Tatsache ist ihm gleichgültig. Nur wenn sie für das Ganze etwas bedeutet, wenn ein großer neuer Fortschritt, vielleicht die Eröffnung eines ganz neuen Forschungsgebietes sich daran knüpft, wird jeder auch gern über die fragliche Einzelheit etwas Genaueres zu erfahren wünschen, weil eben an dies Einzelne sich die umfassende Perspektive — vielleicht zufällig — anschließt. — So habe ich auch hier versucht, ein Gesamtbild nicht nur der Naturphilosophie, sondern als darin notwendig enthalten, auch der Naturforschung selbst, ihrer Ergebnisse und ihrer Probleme zu zeichnen, und hoffe, daß dies auch für solche von Interesse sein wird, denen die Philosophie wenig oder nichts zu sagen hat.

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, den Herren Prof. F. Poske in Berlin, Prof. A. Höfler in Wien sowie Herrn Prof. Dr. Verweyen in Bonn für ihr vielfach dieser Arbeit bewiesenes Interesse meinen besten Dank auszusprechen, dem letzteren besonders auch dafür, daß er mich beim Lesen der Korrektur freundlichst unterstützte und mir dabei noch manche schätzenswerte Anregung sowie eine Reihe von Literaturangaben zukommen ließ.

Bielefeld, im Februar 1914 Der Verfasser

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die überaus freundliche Aufnahme, welche dies Buch überall gefunden hat, ermutigten den Verfasser und die Verlagsbuchhandlung, trotz der großen Schwierigkeiten eine Neuauflage zu wagen. Für ersteren bedeutete das die Notwendigkeit, fast ein neues Buch zu schreiben. Die reißend schnelle Entwicklung, welche die Physik in dem letzten Jahrzehnt durchgemacht hat, — seit dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches trat Bohr mit seiner Spektraltheorie, Einstein mit der allgemeinen Relativitätstheorie hervor — erforderte schon eine völlige Umarbeitung des ersten Teils. Aber auch der biologische Teil mußte fast ganz neu ge-

schrieben werden, um die Ergebnisse der modernen experimentellen Biologie, insonderheit der Entwicklungsmechanik und der Vererbungs- und Abstammungsforschung, in ausreichendem Umfange würdigen zu können. So sind fast zwei Drittel des Buches ganz neu verfaßt und ganz ohne Änderung sind nur wenige Seiten geblieben. — Wenn der Verfasser auch seinem ursprünglichen Plane, die philosophischen Fragen aus einem Gesamtbild der naturwissenschaftlichen Erkenntnis von heute sozusagen von selbst hervorwachsen zu lassen, durchaus treu geblieben ist, so glaubte er doch, nicht nur diesen Fragen selbst an einigen Stellen einen etwas breiteren Raum zubilligen zu dürfen, sondern auch seinen eigenen Standpunkt sowohl in der Erkenntnistheorie, als in der Weltanschauungsfrage etwas stärker hervortreten lassen zu sollen, als es in der ersten Auflage geschehen ist. Seit dem Erscheinen der großzügigen „Naturphilosophie" Erich Bechers bedarf wohl weder die Naturphilosophie als solche, noch der von mir (wie auch von ihm) vertretene Standpunkt des kritischen Realismus einer Entschuldigung mehr dafür, daß sie überhaupt sich die Freiheit nehmen, zu existieren. Ich hoffe aber, daß trotz dieses Standwerks und seines Nachfolgers: „Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung" auch meine bescheidenere Arbeit ihren Platz behalten wird, zumal sowohl mein Weg ein anderer, als auch meine Ergebnisse an manchen Stellen, bei aller Übereinstimmung in den großen Hauptgedanken, abweichende sind. Von Jellineks im ganzen ähnliche Absichten verfolgendem Werk „Das Weltengeheimnis" scheidet mich seine offene Anhängerschaft an die Theosophie, außerdem, ebenso wie von Österreichs trefflichem „Weltbild der Gegenwart" mein rein naturwissenschaftlicher Ausgangspunkt und die viel ausführlichere Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Einzelergebnisse.

Auch in anderer Hinsicht hat sich seither ein merklicher Wandel vollzogen. Der Weltkrieg und seine Folgen haben in einem kaum geahnten Maße eine Abkehr vom Materialismus gebracht. Es besteht jedoch die nicht unbeträchtliche Gefahr, daß der Ruf: Zurück zum Idealismus! zu einer Abwendung auch von den gesicherten Grundlagen unserer modernen Welterkenntnis führen könnte, das unheimliche Anschwellen der okkultistischen Bewegung spricht eine deutliche Sprache. Auf Haeckel folgt — Steiner, auf „monistische Sonntagspredigten" spiritistische Sitzungen und telepathische Experimentaluntersuchungen. Der Verfasser ist der Ansicht, daß der neue Idealismus Bestand haben kann nur bei nüchternster und

gerechtester Würdigung und Verarbeitung des ganzen ungeheuren Materials, das die Naturwissenschaft mit ihren durchaus bewährten Methoden erstellt hat. Wenn die angebliche „naturwissenschaftliche Weltanschauung" der Materialisten ein Phantom war und ist, so ist eine Weltanschauung ohne Naturwissenschaften doch erst recht eine völlige Unmöglichkeit. Das werden wohl oder übel auch die Vertreter der Philosophie als reiner „Geisteswissenschaft", ja auch die Kirchen lernen müssen, wenn sie es noch nicht gelernt haben sollten. Dieses verwickelte Problem aber ist mit einigen rein formalen Feststellungen nicht zu lösen. Hier hilft eben nichts, als sorgfältige Durcharbeitung des ganzen in Betracht kommenden Stoffes. Es ist gut, daß Dinge, wie z. B. die Relativitätstheorie, plötzlich auftauchend, immer einmal wieder den Vertretern bloß formaler „Grenzuntersuchungen" vor Augen führen, wie unfruchtbar auch auf diesem Gebiet alles bloße Theoretisieren, wie dringend notwendig auch hier die „induktive" Methode ist.

Der Verfasser ist der Verlagsbuchhandlung zu großem Dank verpflichtet, daß sie auf alle seine Wünsche, insonderheit auch auf die Einfügung einer größeren Zahl von Bildern, bereitwilligst einging. Durch letztere ist hoffentlich nicht nur der äußere Eindruck, sondern auch der sachliche Wert erheblich erhöht. Erleichtert wurde diese Zugabe dadurch, daß die Verwaltung des Keplerbundes, zu dessen Leitung der Verfasser Ostern 1920 berufen wurde, in sehr entgegenkommender Weise eine große Zahl von Bildstöcken zur Verfügung stellte, die größtenteils dem volkstümlichen Prachtwerk „Moderne Naturkunde" entstammen. Dank schuldet der Verfasser ferner allen denen, die in so großer Zahl und aus allen Lagern — vom Monistenbundführer bis zum Theologieprofessor — ihn durch freundliche Zustimmung ermunterten und durch ebenso freundliche Kritik berieten. Er hofft, daß diese Anregungen nicht vergeblich gewesen sind. Dank ferner den Behörden, deren freundliche Urlaubsbewilligungen im letzten Jahre auch dem Abschluß dieser Arbeit zugute kamen. Dank schließlich vor allem derjenigen, die mir die Vorbedingungen zu ruhiger und freudiger Arbeit im Hause neben allen Amtspflichten schaffte und dieser selbst dauernd mit liebevollem Verständnis folgte, meiner lieben Frau.

Bielefeld, im August 1921 — Der Verfasser

Inhalt.

I. Kraft und Stoff.

I. Kraft und Stoff.

Das in diesen beiden Worten ausgedrückte Problem ist so alt wie die philosophische Spekulation überhaupt. Wir können es etwa so formulieren: Damit etwas in der Welt geschieht, muß etwas da sein, womit, woran oder worin die Veränderung sich vollzieht. Anders gesagt: Jede Veränderung setzt einen, selbst unveränderten, Träger der Veränderung voraus. Diesen nennt die Philosophie seit Aristoteles' Tagen hyle oder lateinisch materia [1], die Veränderungen selbst aber werden, in unverkennbarer Anlehnung an die durch den menschlichen Willen ausgelösten Ereignisse als „Wirkungen" der „Naturkräfte" betrachtet. So erscheint die Welt als eine Summe materieller Teile, die durch die vorhandenen Kräfte in fortwährender Veränderung gehalten werden, und so hat lange vor Lavoisier und Rob. Mayer schon die Philosophie auch die beiden Grundsätze der Unveränderlichkeit der Gesamtmenge aller Materie und der Gesamtsumme aller Kräfte ausgesprochen (Descartes). Die Entdeckungen der beiden genannten großen Forscher erscheinen unter diesem Gesichtspunkte nur als besondere Ausführung des von der Philosophie bereits in seinen Umrissen festgelegten Bildes. Lavoisier hätte danach das Verdienst, erkannt zu haben, daß die Masse (s. u. S. 59) eines Stückes Materie diejenige physikalisch meßbare Größe darstellt, die als Quantität der Materie schlechtweg zu bezeichnen wäre, weil sie bei allen Veränderungen konstant bleibt und Mayer hätte analog das gleiche Verdienst um die Feststellung derjenigen Größe, die als Maß für die „Kräfte" zu gelten hätte, der Energie, wie wir heute sagen. Masse und Energie wären danach nur die zu genau meßbaren, physikalischen Größen präzisierten Begriffe „Materie" und „Kraft" der Philosophen.

Die Philosophen haben sich nun von jeher den Kopf darüber zerbrochen, wie es doch möglich sei, daß die Kraft auf die Materie wirkt. Nachdem man zuerst einen Dualismus von Kraft und Stoff aufs schärfste herausgearbeitet hat, wundert man sich, wie nun diese beiden entgegen-

gesetzten Pole der Welt wieder unter einen Hut zu bringen seien. Auch in unserer Zeit ist noch gelegentlich von diesem „unergründlichen Welträtsel" oder gar von dreien: 1. Was ist der Stoff? 2. Was ist die Kraft? 3. Wie wirkt die Kraft auf den Stoff? zu hören. Wir wollen aber hier nicht in allgemeine Erörterungen über diese Fragen, etwa zunächst über ihre Zulässigkeit oder ihren Sinn u. a. m. eintreten, sondern einfach diejenigen Wissenschaften befragen, die es mit Stoff und Kraft zu tun haben, die Chemie und die Physik. Vielleicht genügt die Antwort, die wir von ihnen erhalten, um von vornherein die genannte Frage als schief und sinnlos zu erkennen. Es wäre ja nicht das erstemal, daß die einfache empirische Wissenschaft einen Knoten zerhieb, an dessen Entwirrung sich die Spekulation Jahrhunderte hindurch vergeblich gemüht hat. Historisch ist zwar die Wissenschaft vom Stoff, die Chemie, die jüngere Schwester der Physik; wir beginnen aber unsere Betrachtungen doch am besten bei jener, wie wir uns hier überhaupt in keiner Weise an den historischen Gang der Erkenntnis binden, sondern die Dinge so entwickeln wollen, wie sie sich heute im Zusammenhange der Erkenntnis darstellen und daher auch diesen Zusammenhang am klarsten heraustreten lassen.

Die Grundbegriffe der Chemie.

Jedermann kennt aus dem täglichen Leben eine Unzahl verschiedener Stoffe. Es mag zunächst aber daran erinnert sein, daß das, was man gewöhnlich als einen bestimmten Stoff bezeichnet, wie z. B. Fleisch, Milch, Holz, Erde, . . . in der Regel nicht ein einfacher Stoff im Sinne der Wissenschaft ist, sondern ein meist sehr mannigfaltiges Gemisch verschiedener Einzelstoffe, die sich daraus durch mehr oder minder verwickelte Verfahren (Auspressen, Auskochen, Auslaugen, Abdestillieren usw.) zum Teil wenigstens isolieren lassen. Was man in der Wissenschaft unter einem einzelnen Stoff, also einem Stoff-Individuum sozusagen, versteht, ist hier einwandfrei zu erklären nicht gut möglich. Wir müssen schon hier, gleich zu Anfang feststellen, daß die exakten Definitionen in der Naturwissenschaft nicht am Anfang, sondern am Ende der Erkenntnis stehen. Wir müssen überall zunächst vorläufige Begriffe bilden und dann von ihnen ausgehend aus dem weiteren Verlauf der Forschung selbst die Erarbeitung genauerer Vorstellungen und Definitionen erwarten[2]. Man denke also bei „Einzelstoff" vorläufig einmal

an solche Beispiele wie Zucker, Alkohol, Wasser (reines), Kochsalz, Kupfervitriol u. a. m., und es mag genügen zu bemerken, daß fast überall, wo uns in der Natur Gemische dieser einfachen Stoffe vorkommen, die Wissenschaft Mittel und Wege kennt, die einzelnen Gemengteile daraus zu isolieren. Solcher „reinen" Stoffe kennt die Chemie heute ungefähr $^3/_4$ Millionen, wovon der größere Teil zu den sogen. „organischen Stoffen" gehört, d. h. solchen, die im Körper der Pflanzen und Tiere vorkommen oder aus pflanzlichen und tierischen Stoffen gewonnen werden können (z. B. Alkohol, Zucker, Stärke, Indigo u. a.).

Diese Stoffindividuen nun lassen sich bekanntlich durch gewisse Operationen, wie z. B. Erhitzen, Einwirkung der Elektrizität u. a., abermals trennen oder, wie man nun sagt, z e r l e g e n , so z. B. Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, Kochsalz in Natrium und Chlor, Zucker in Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff usw. Umgekehrt läßt sich auch aus den so erhaltenen Bestandteilen oder „Grundstoffen" der betreffende Einzelstoff wieder herstellen, die Grundstoffe lassen sich „verbinden", wenn auch diese Verbindung oder „Synthese" meist nicht so einfach zu bewerkstelligen ist, als umgekehrt die Zerlegung oder „Analyse". Es ist durchaus notwendig, zunächst klar zu unterscheiden zwischen den Begriffen „Verbindung und Zerlegung" einerseits und den Begriffen: „Mischung und Entmischung mehrerer Einzelstoffe" andererseits. Man pflegt als Kennzeichen der ersteren Art, der „c h e m i s c h e n" Vorgänge, anzuführen, daß hierbei erstens aus dem oder den vorhandenen Stoffen (etwa Wasser) total neue andere Stoffe entstehen (hier Wasserstoff und Sauerstoff, zwei Gase), und daß zweitens dabei stets bestimmte Mengenverhältnisse bestehen. Beide Kennzeichen fehlen bei der bloßen Mischung und Entmischung. Denn einmal zeigt das Gemisch wenigstens in der Regel deutlich die Eigenschaften aller einzelnen Bestandteile, und zum anderen ist es an keinerlei bestimmtes Verhältnis gebunden: man kann z. B. Alkohol und Wasser in jeder beliebigen Weise mischen. Auch dieser Unterschied gehört nun, wie eine eingehendere Untersuchung zeigt, zu den nicht ganz streng haltbaren. Aber auch hier gilt es wieder zunächst einmal provisorisch jene Unterscheidung anzunehmen und von da aus weiterzubauen.

Es ist ferner bekannt, daß die Zahl der Grundstoffe angesichts der ungeheuren Menge bekannter Stoffe eine geradezu staunenswert geringe ist, nämlich nur ca 90, und daß — noch viel merkwürdiger — von diesen sogar noch eine sehr große Zahl, mehr als die Hälfte, praktisch auch fast völlig aus-

scheiden, da sie nur in einzelnen ganz seltenen Stoffen, von denen der Laie kaum jemals etwas hört, enthalten sind. Die überwiegende Mehrheit aller bekannten Stoffe ist nur aus rund zwei bis drei Dutzend von „Elementen" zusammengesetzt[3], ja das ganze Heer der „organischen Stoffe" (s. u.) besteht gar nur aus vier Elementen: Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, nebst einigen mehr oder minder bedeutsamen Nebenelementen (Schwefel, Phosphor, Kalium, Eisen u. a.). — Legt nun diese merkwürdig geringe Zahl der Elemente schon den Gedanken nahe, daß möglicherweise doch auch diese Elemente selbst noch wieder zerlegbar sein könnten, so kommt diesem Gedanken von der anderen Seite her das Einheitsbedürfnis des menschlichen Geistes entgegen. Es will uns nun einmal schlecht in den Kopf, daß von allem Anfang der Welt an gerade diese 90 Grundstoffe sollten fix und fertig existiert haben. Allein mit solchen allgemeinen Erwägungen ist natürlich keine wirkliche Erkenntnis zu erreichen. Wir haben aber heute mehr als das; wir kennen jetzt, wenn wir auch die Einheit der Elemente noch nicht völlig durchschauen, doch eine große Anzahl von Erscheinungen, die uns diese Forderung als unabweisbare Folgerung nahelegen. Von diesen Erscheinungen seien gleich hier einige der bedeutsamsten kurz skizziert.

Die erste ist die Tatsache der verwandtschaftlichen Beziehungen der Elemente untereinander, die sich aus dem Gesamtbefunde der chemischen Forschungen ergibt und ihren bisher zutreffendsten Ausdruck in dem sogen. periodischen System der Elemente findet (Meyer, Mendelejeff 1869). Ordnet man die Elemente nach ihrem sogen. Atomgewichte — was diese Zahl bedeutet, wird unten zur Sprache kommen —, so zeigt sich, daß das 1., 9., 17. usw., das 2., 10., 18. usw. usw. die größte Ähnlichkeit miteinander haben. Schreibt man also je acht Elemente in eine horizontale Reihe, und beginnt mit dem 9., 17. . . . jedesmal eine neue Reihe, so kommen die ähnlichen Elemente gerade untereinander zu stehen, und man erhält also acht Kolonnen (Vertikalreihen), die je eine Gruppe verwandter Elemente umfassen, und die übrigens wieder in mehr oder minder deutliche Untergruppen zerfallen (s. die Tabelle am Schluß). Um dies System durchführen zu können, muß man allerdings einige Stellen offen lassen, also annehmen, daß da noch unbekannte Elemente stehen müßten. Man kann aber deren Eigenschaften dann im voraus aus dieser Stellung im periodischen System angeben, und in der Tat ist schon mehrere Male eine solche Voraussage durch die spätere Entdeckung des betreffenden Elements

glänzend bestätigt. Angesichts dessen, sowie aller sonstigen Leistungen des periodischen Systems, das fast auf alle Gebiete der Chemie neues Licht geworfen hat, unterliegt es gar keinem Zweifel, daß die in ihm zum Ausdruck kommende Gesetzmäßigkeit tief in der Natur der sogen. Elemente begründet ist, auch wenn manche Mängel und ein paar bisher noch nicht völlig geklärte Ausnahmen diesem System anhaften.

Zu diesem merkwürdigen Beweise innerer Verwandtschaft der Elemente sind nun in neuester Zeit eine große Reihe von Forschungsergebnissen gekommen, die bisher wenigstens auf keine andere Weise zu deuten waren, als daß es sich dabei um wirkliche Umwandlungen eines Elementes in ein oder mehrere andere handelt. Es sind die weiter unten (S. 111) ausführlicher zu erörternden Tatsachen der Radioaktivität, die wir hier im Auge haben. Als so gut wie zweifelsfrei festgestellt darf u. a. angesehen werden, daß aus den radioaktiven Elementen (Radium, Uran, Thorium usw.) sich das Element Helium bildet. Neuerdings glaubt der berühmte Radiumforscher Rutherford aber auch die Bildung von Wasserstoff aus Stickstoff u. a. infolge radioaktiver Einwirkung festgestellt zu haben (s. S. 117) Von einer näheren Erläuterung sehen wir an dieser Stelle ab.

Hier scheint sich nun aber sogleich eine schwerwiegende Frage von allgemeinstem Interesse aufzudrängen: Wenn es denn wahr ist, daß die sogen. „Elemente" keine Elemente in dem Sinne unveränderlicher Urstoffe sind, stellt sich dann nicht das ganze bisherige System der Chemie als ein einziger großer Irrtum dar? Muß da nicht die Wissenschaft wieder einmal ganz von vorn anfangen? In der Tat hat man sehr bald nach den besprochenen Entdeckungen solche Stimmen gehört und hört sie noch heute, die von einer Umwälzung oder gar einem „Bankerott" der ganzen bisherigen Chemie sprechen. Allein seien wir einmal ganz nüchtern — was ist denn nun eigentlich, gesetzt den Fall, alle jene Versuchsergebnisse und Hypothesen behalten Recht und lassen sich weiter durchführen, was ist damit bewiesen? Doch nur dies, daß wir dem Gebäude unserer bisherigen Erkenntnis ein neues Stockwerk aufzusetzen genötigt sind, aber keineswegs, daß wir das bereits stehende wieder einreißen müßten. Besteht etwa das Wasser nicht mehr aus Wasserstoff und Sauerstoff, das Kochsalz nicht mehr aus Natrium und Chlor? Gilt es nicht nach wie vor, daß diejenigen 92 Stoffe, in welche durch die gebräuchlichen analytischen Methoden alle bekannten Stoffe zerlegt werden können, eine durch das ganze chemische Forschungs-

ergebnis wohl charakterisierte in sich abgeschlossene Gruppe von Stoffen bilden, die untereinander in den Beziehungen stehen, welche das periodische System, wenn auch unvollkommen, zum Ausdruck bringt? Wer will uns hindern, das Wort „Element" nach wie vor, da es sich nun einmal für diese jedem Chemiker wohlbekannten Stoffe eingebürgert hat, auch weiterhin dafür zu gebrauchen und für etwaige ihnen wieder zugrunde liegende „Urstoffe" dieses oder sonst ein neues Wort vorzusehen? Die Kritiker, welche mit solcher Bestimmtheit die „Umwälzung" der bisherigen Wissenschaft verkünden, merken gar nicht, daß sie damit mitten in der mittelalterlichen Scholastik stecken geblieben sind, statt sich in der modernen Naturwissenschaft zu bewegen. Denn Scholastik ist es, Erkenntnis in bloßen Worten zu suchen und deshalb von einer Umwälzung der Erkenntnis zu reden, wenn ein Wort einen etwas anderen, präzisierteren Sinn bekommt, als vordem. Die Naturwissenschaft aber hat es mit den Dingen, nicht mit Worten zu tun. Für sie ist es verhältnismäßig gleichgültig, welchen Begriff der Philosoph oder der Philologe mit dem Worte „Element" verbindet; es kommt ihr nur darauf an, daß sie damit eine passende Bezeichnung für eine Reihe von wirklich bekannten und teilweise noch neu zu entdeckenden Dingen, hier bestimmten Stoffen, besitzt. Nicht a priori wird festgesetzt, was unter „Element" zu verstehen sei, sondern a posteriori wird jene wohl definierbare Gruppe von Stoffen um ihrer analytisch festgestellten Beziehungen zu den anderen Stoffen willen mit diesem Namen belegt: Wenn hier etwas „umgewälzt" werden sollte, so müßten diese analytischen Ergebnisse als Irrtümer erwiesen werden. Davon ist aber gar keine Rede, es handelt sich vielmehr nur darum, daß weit über den Kreis dieser chemisch-analytischen Methoden hinaus andere Mittel und Wege gefunden sind, die eine Änderung der Elemente als möglich erscheinen lassen. Statt zu sagen: Element ist ein Stoff, der durch keinerlei Mittel zerlegt werden kann, haben wir jetzt zu sagen: Elemente sind die Stoffe, auf die man durch die gebräuchlichen chemisch-analytischen Trennungsverfahren kommt[4]. Einer solchen Korrektur ist alle wissenschaftliche Begriffsbildung unausgesetzt unterworfen. Sie besagt nicht, daß etwas umgestoßen oder geändert werde (natürlich kann das auch gelegentlich vorkommen, denn auch in der Wissenschaft sind direkte Irrtümer möglich), sondern sie besagt nur, daß die Grenzen der Gültigkeit unserer Begriffe genauer abgesteckt werden. Was man früher schlankweg „unzerlegbar" nannte, nennt man jetzt unzerlegbar für einen gewissen

Kreis von chemischen Mitteln. Das ist eine Ergänzung, aber keine „Umwälzung“. Glaubt denn jemand ernstlich, man werde in Zukunft nicht mehr von Wasserstoff, Sauerstoff, Natrium, Eisen . . . als einer bestimmten Art „einfacher“ Stoffe reden? Oder es werde jemals ein Schüler die Chemie ohne Zuhilfenahme des Systems dieser „Elemente“ erlernen? Alles das gilt auch jetzt noch, es ist lediglich das, was bisher das Letzte und Tiefste unserer Erkenntnis war, Durchgangsstufe zu einer noch tiefer eindringenden Erkenntnis geworden.

Will also jemand dem Wort Element durchaus den Sinn „unwandelbarer Urstoff“ lassen, so bezeichnen wir in der Naturwissenschaft einfach das, was bisher so genannt wurde, als Grundstoffe 1. Ordnung, das, was diesem wieder zugrunde liegt, als solche 2. Ordnung usw. und sind praktisch genau so weit wie vorher. Das ganze ist lediglich ein Streit um das zweckmäßigste Bezeichnungsverfahren. Die Naturwissenschaft wird aber jedenfalls sich dafür entscheiden, das Wort „Element“ für die Dinge beizubehalten, denen es bisher beigelegt ist, denn sie hat es mit Dingen, nicht mit bloßen Begriffen zu tun. Es war notwendig, dieses Beispiel hier gleich zu Anfang in aller Ausführlichkeit zu behandeln, da es in typischer Weise eine der Quellen zeigt, aus denen der große Wirrwarr entspringt, der heute in den Fragen der naturwissenschaftlichen Erkenntnistheorie so vielfach herrscht und sich in so zahlreichen „kritischen“ Angriffen auf die Wissenschaft entladet. Wir können uns im folgenden dafür um so kürzer fassen, denn wir werden sehen, daß dieser selbe Gegensatz zwischen scholastischer Begriffsklauberei und realistischer Denkweise der Naturforschung sich überall wiederholt. Einen lehrreichen Beitrag dazu liefert auch die Erkenntniskritik derjenigen Begriffe, die wir nun einer ausführlichen Besprechung unterziehen müssen, der Begriffe

Molekül und Atom.

Den historischen Gang der atomistischen Vorstellungen seit Leukipp, Empedokles und Demokrit hier darzulegen, ist wiederum nicht unsere Aufgabe, so lehrreich eine Vertiefung in diese vielfach verschlungenen Denkwege vom erkenntnistheoretischen Standpunkt auch ist. Wir wollen vielmehr zunächst sehen, was die heutige Wissenschaft unter den fraglichen Begriffen versteht und uns sodann fragen, mit welchem Rechte sie dieselben gebraucht[5].

Der wesentlichste Inhalt der heutigen Molekular- und Atomtheorie läßt sich in den Satz zusammenfassen, daß alle Materie, auch die scheinbar völlig homogen (gleichmäßig) den Raum erfüllende in Wahrheit eine „körnige Struktur“ besitzt, vergleichbar etwa einem engmaschigen Gewebe oder einem Sandsteinfelsen, jedoch von einer solchen Feinheit, daß die einzelnen „Körnchen“ auch mit dem besten Mikroskop nicht mehr zu sehen sind. Um sich in dieser Welt des Kleinsten bequemer Maße zu bedienen, hat man ein Tausendstel Millimeter oder 1 Mikron 1 μ = 0,001 mm) und ein Millionstel Millimeter oder 1 Millimikron (1μμ = 0,000001 mm) als kleinere Maßeinheiten eingeführt. Die Grenze der Sichtbarkeit für gewöhnliche Mikroskope liegt bei etwa 0,2 μ = 200 μμ. Mit Hilfe des „Ultramikroskops“ von Siedentopf und Zsigmondy erkennt man noch die Existenz (nicht jedoch die Gestalt und Größe) von Teilchen bis nahe an 1 μμ heran (etwa 4—5 μμ), vorausgesetzt, daß diese weit genug auseinander liegen. Die fraglichen kleinen Einheiten der Materie sind nun nur noch wenig kleiner als diese Grenze; wir nehmen also an, daß etwa ein Quantum Wasser oder Luft, ein Stück Glas oder Metall usw. aus kleinen Teilchen aufgebaut ist, deren Abstände nahe an 1 μμ liegen, „von der Größenordnung 0,1—1 μμ sind“, wie man gewöhnlich sagt. Diese Einheiten heißen Moleküle oder Molekeln (vom lat. moles = Masse), und wir wollen diese Vorstellung als die physikalische Molekularhypothese bezeichnen, da sie im wesentlichen zunächst den Zweck hat, eine große Reihe physikalischer Erscheinungen, so z. B. die Zusammendrückbarkeit, die Wärmeausdehnung, die Aggregatzustände, die Kapillar- und Kohäsionserscheinungen uns verständlich zu machen. Auf ihren weiteren Ausbau in der Physik werden wir an anderen Stellen (S. 14, 77) einzugehen haben.

Zu dieser Grundvorstellung fügt nun die moderne Chemie seit Dalton (1809) eine zweite. Die Moleküle eines bestimmten Stoffes sind alle untereinander als gleich anzusehen, die verschiedener Stoffe dagegen verschieden. Es gibt also ebensoviele Arten von Molekülen, als es Stoffarten gibt (ca. $^3/_4$ Millionen). Nun lassen sich ja aber die weitaus meisten dieser Stoffe „chemisch zerlegen“, d. h. aus einem Stoff können zwei oder mehr voneinander verschiedene erhalten werden. Dieser Vorgang kann, wenn alle Moleküle desselben Stoffes untereinander gleich sind, nur als eine Teilung dieser Moleküle selbst aufgefaßt werden. Wenn Kochsalz in Natrium und Chlor zerlegt wird, so müssen seine Moleküle in mindestens zwei vonein-

ander verschiedene Teile zerfallen sein, ebenso wenn Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerfällt usw. (Eine Korrektur dieser bisher stets so ausgeführten Überlegung kommt unten zur Sprache.) Offenbar sind die so erhaltenen Unterteile der Moleküle nun die kleinsten Teilchen der chemischen Elemente, die die betr. Verbindung bilden. Diese elementaren Unterteile der Moleküle heißen Atome. Selbstredend kommt diesen genau so gut, wie den Molekülen selber, eine ganz bestimmte endliche Größe zu ($< 1\ \mu\mu$), und es gilt bezüglich des Wortes Atom alles oben betr. des Wortes „Element" Gesagte. Was das Wort bei den Griechen und auch in der neueren Philosophie vielfach bedeutet hat, ist hier völlig gleichgültig. Für die Wissenschaft hat es den soeben angegebenen, durchaus präzisen Sinn. Es soll damit keineswegs gesagt werden, daß ein Atom schlechthin „unteilbar" (a-tomos) sei. Es ist nur unteilbar, ebenso wie das „Element" unzerlegbar ist, innerhalb des Kreises der gewöhnlichen analytischen Chemie.

Die Moleküle werden somit als Atomkomplexe aufgefaßt, die Art und Anzahl der in einem Molekül steckenden Atome wird durch die „chemische Formel" des Moleküls kurz angegeben, z. B. NaCl für Kochsalz, H_2O für Wasser (H Wasserstoff-, O Sauerstoffatom), die damit zugleich quantitativ die Zusammensetzung des betr. Stoffes ausdrückt. Gründe, deren Darlegung hier zu weit führen würde[6] zwingen, wenn man einmal diese ganze Vorstellung überhaupt annimmt, zu der weiteren Folgerung, daß auch in vielen freien Elementen (Wasserstoff, Sauerstoff usw.) die Atome solche Komplexe bilden, also nicht frei existieren, so daß die physikalischen „Moleküle" dieser Stoffe ebenfalls, wie die der Verbindungen, aus zwei oder mehr Atomen bestehen, jedoch aus gleichartigen Atomen, während diese letzteren aus ungleichartigen bestehen. Dem Molekül Salzsäuregas HCl sind also völlig analog das Molekül H_2 des gewöhnlichen Wasserstoffs oder das Molekül Cl_2 des gewöhnlichen (grünen) Chlors. Alle drei sind zweiatomige Moleküle. Dies schließt nicht aus, daß nicht bei der Trennung etwa eines HCl-Moleküls vorübergehend freie H- oder Cl-Atome existieren könnten, ebenso wie hiermit keineswegs eine allgemeine Regel für alle Elemente gegeben ist. Es gibt Elemente mit einatomigen, zwei-, drei-, vier- und sechsatomigen und vielleicht noch komplizierteren Molekülen, vielfach bildet auch ein Element bei verschiedener Temperatur verschieden große Moleküle (z. B. Schwefel S_2 und S_6). Theoretisch von Bedeutung sind vor allem die

einatomigen Moleküle gewisser gasförmiger Elemente, *der sog. Edelgase*, aus der achten (nullten) Kolonne des periodischen Systems: Helium (He), Neon (Ne), Argon (A) usw.

Für alle *gasförmigen* Stoffe — Elemente wie Verbindungen — hat der italienische Physiker *Avogadro* 1811 die grundlegende, nach ihm benannte Regel aufgestellt:

Gasförmige Stoffe enthalten bei gleicher Temperatur und gleichem Druck in gleichen Raumteilen gleich viel Moleküle.

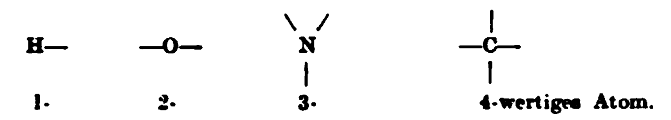
Diese Anzahl selbst zu berechnen, hat Avogadro allerdings wohl kaum für möglich gehalten. Sie ist zuerst im Jahre 1865 von dem österreichischen Physiker *Loschmidt* angenähert ermittelt worden. Man versteht unter der *Loschmidtschen Zahl die Zahl der Moleküle im Kubikzentimeter eines Gases bei 0° C und 1 Atm. Druck.* Sie beträgt nach zahlreichen neueren Untersuchungen (s. u.) 27,5—28 Trillionen (1 Trillion ist $1\,000\,000^3 = 10^{18}$, also eine 1 mit 18 Nullen) Mit Hilfe dieser Zahl, die wir im folgenden mit N bezeichnen werden, lassen sich leicht alle anderen absoluten Molekularangaben, wie z. B. das Gewicht eines einzelnen Moleküls u. dgl. berechnen. Wir bemerken nur, daß das leichteste aller chemischen Atome, das Wasserstoffatom, beiläufig 1,64 Quadrillionstel Gramm ($1{,}64 \cdot 10^{-24}$ g) wiegt.

Über die Art der bei der chemischen Vereinigung mehrerer Atome zum Molekül sich abspielenden Vorgänge herrscht noch ziemlich große Unsicherheit. Für manche Zwecke genügt die primitive Vorstellung einer einfachen *Aneinanderlagerung*, bei der somit die Atome selbst innerhalb des Moleküls ungeändert weiter existieren würden. Dem widerspricht aber anderseits die allgemeine Tatsache, daß chemische Verbindungen im allgemeinen nur wenige oder gar keine Eigenschaften mit ihren Bestandteilen gemeinsam haben, während doch die verhältnismäßig leichte Rückbildung der letzteren wieder darauf schließen läßt, daß diese doch auch innerhalb der Verbindung noch eine gewisse Sonderexistenz führen. Man könnte also sogar daran denken, sich die Moleküle nach Art eines Akkords vorzustellen, dessen einzelne Töne ja auch nicht nebeneinander existieren, sondern in und durcheinander durch den Raum fluten. Doch geht wohl eine so extreme Auffassung zu weit, da zahlreiche chemische Erscheinungen nur verständlich sind, wenn man den Molekülen einen gewissen räumlichen Aufbau aus den Atomen, eine bestimmte „Struktur“ zuschreibt, die man

auch in sogen. Struktur- oder Konstitutionsformeln zum Ausdruck bringt. Später zu untersuchende Erörterungen haben gelehrt, daß ein Atom selbst als ein ziemlich verwickeltes, vielleicht sogar sehr verwickeltes Bauwerk aus noch kleineren Einheiten, wahrscheinlich als eine Art von Planetensystem anzusehen ist. Es scheint so, als ob die meisten der uns direkt wahrnehmbaren Eigenschaften der Atome (wie beispielsweise die Farbe) im wesentlichen durch die äußeren Teile dieses Systems bedingt sind. Es ist dann leicht begreiflich, daß beim Ineinandergreifen zweier derartiger Systeme auch gerade diese äußeren Teile in ihrer Anordnung usw. geändert werden, d. h. also, daß fast alle unmittelbaren physikalischen Eigenschaften sich ändern. Die inneren Partien dagegen bleiben im wesentlichen ungeändert, d. h. das Atom bleibt doch der Hauptsache nach, was es ist, auch innerhalb des größeren Verbandes, und es hat somit durchaus einen Sinn, von dem Aufbau des Moleküls aus Atomen zu sprechen.

Die Gründe für das Festhalten an letzterer Vorstellung — der „Strukturchemie" — liegen hauptsächlich auf dem Gebiet der organischen Chemie. Da wir bei späteren Darlegungen ziemlich oft auf diese werden zurückkommen müssen, so sei hier das Notwendigste für den mit dem Gegenstand nicht vertrauten Leser eingefügt, wobei wir natürlich rein dogmatisch verfahren müssen[7].

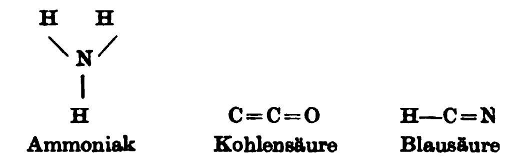
Die organische Chemie ist die Chemie des Elementes Kohlenstoff (C). Jedes Kohlenstoffatom besitzt vier Angriffsstellen für andere Atome oder sogen. Valenzen (Wertigkeiten), d. h. an vier Stellen kann sich ein anderes Atom — sei es wieder ein C-Atom, sei es ein H-, O- . . . Atom daran zu „lagern" oder „binden". Ebenso besitzt jedes Wasserstoff-Atom (H) eine solche Angriffsstelle, jedes Sauerstoff-(O)-Atom zwei, jedes Stickstoffatom (N) drei. Man symbolisiert die Angriffsstellen durch Striche:



Verbinden sich nun die Elemente, d. h. lagern sich die Atome zu Molekülen aneinander, etwa Wasser H_2O, Ammoniak NH_3, Kohlensäure CO_2, Blausäure CNH, so gilt die Regel:

Die Atome lagern sich so und in solcher Zahl aneinander, daß ihre Angriffsstellen möglichst einander zugekehrt sind und keine solche Stelle frei bleibt.

Das Wassermolekül H_2O ist daher so aufzufassen, wie es das Schema H—O—H zum Ausdruck bringt, worin nun der Strich jedesmal das Ineinandergreifen zweier solcher Angriffsrichtungen darstellt (eigentlich also H—→ ←—O—→ ←—H). Eine solche Formel heißt „Strukturformel", weil sie die gegenseitige Anordnung der Atome im Molekül. also dessen Struktur oder „Konstitution" zum Ausdruck bringt. Die Strukturformeln der oben noch angeführten drei anderen Arten von Molekülen sind:



Nach der oben stehenden Regel muß normalerweise jede Strukturformel so geschrieben werden, daß jedes Atom die ihm zukommende Zahl von Wertigkeitsstrichen erhält und keiner derselben dann frei endigt. Dabei ist es aber einerlei, ob man bei einem O-Atom die beiden Striche zu beiden Seiten (—O—) oder an derselben Seite (=O) anbringt, obwohl das freilich zu der Annahme bestimmt lokalisierter Angriffsstellen nur schlecht paßt.

Das Wesentliche für die organische Chemie ist nun, daß die Atome des Kohlenstoffs die eigenartige, keinem anderen Element in diesem Grade zukommende Fähigkeit haben, sich untereinander zu „binden" oder zu „verketten", und zwar sowohl mit einer, wie mit zwei, wie mit drei Wertigkeiten,

$$\equiv C—C \equiv \quad \text{oder} \quad =C=C= \quad \text{oder} \quad —C\equiv C—$$

Die dann noch *freien* Wertigkeiten können mit anderen Atomen passend besetzt werden. Da nun diese Fähigkeit der Kohlenstoff-Atome fast unbeschränkt ist — es können beispielsweise bis zu 60 C-Atomen sich in einer Reihe hintereinander mit je einer Wertigkeit binden — so sind offenbar die verwickeltsten Strukturen denkbar. Man spricht dabei von dem „Kohlenstoff-Skelett", an dem dann als Fleisch sozusagen die übrigen Atome hängen.

Ein Beispiel mag das Gesagte noch verdeutlichen: Alkohol hat die Molekularformel C_2H_6O und die Konstitution

```
   H   H
    \ /
H—C—C—O—H
    / \
   H   H
```

Die letztere Formel läßt uns mit einem Blick erkennen, daß das eine H-Atom (das am weitesten rechts geschriebene) sich anders verhalten wird, wie die fünf übrigen, da es nur indirekt, nämlich durch Vermittlung des O-Atoms an das C-Skelett gebunden ist, die übrigen hingegen direkt. Diesem Bilde entspricht das tatsächliche chemische Verhalten des Alkohols in der denbkar vollkommensten Weise.

In ähnlicher Weise stellt jede, auch die verwickeltste Strukturformel, das gesamte chemische Verhalten des betreffenden Stoffes meist sehr zutreffend dar. Vor allem aber ermöglicht nur sie es uns, den betreffenden Stoff künstlich d. h. aus seinen Elementen oder doch aus einfachen Molekülen aufzubauen, seine „Synthese" zu bewerkstelligen.

So stellen wir auf Grund der von Baeyer in langer mühevoller Arbeit ermittelten Konstitutionsformel des Indigos $C_{16}H_{10}N_2O_2$, nämlich

```
        H                   H
        |                   |
        C    O         O    C
       / \\  ||        ||  //\
   H—C    C—C          C—C    C—H
     ||   |  > C=C <   |  ||
   H—C    C—N          N—C    C—H
      \  //  |         |  \\ /
        C    H         H    C
        |                   |
        H                   H
```

seit 1897 unseren eigenen, sowie einen sehr großen Teil des ausländischen Bedarfs an Indigo fabrikmäßig her, und so werden heute zahllose andere wertvolle Stoffe — Farben, Heilmittel, allerlei technische Gebrauchsstoffe, Riechstoffe usw. — auf Grund ebensolcher Forschungsergebnisse hergestellt Und das alles, was fabrikmäßig verwertet wird, ist selbstredend nur ein kleiner Bruchteil von dem Gesamtergebnis der wissenschaftlichen Forschung, da ja nur weniges von dem vielen eine technische Ausbeutung pekuniär lohnt. In der relativ kurzen Zeit von etwa 50—60 Jahren hat die Wissenschaft, nicht zum wenigsten dank der Arbeit deutscher Forscher, die Aufgabe, die Konstitution der organischen Stoffe zu ergründen, im wesentlichen gelöst.

Daß dies alles lediglich auf Irrtümern oder auch nur auf Phantasiekonstruktionen beruhen sollte, ist unmöglich. Damit ist aber natürlich nicht gesagt, daß diese Vorstellungen nun auch schon ausreichend wären. Es muß vielmehr der Zukunft überlassen bleiben, hierin völlige Klarheit zu schaffen; ein Anfang ist, wie wir später genauer sehen werden, bereits gemacht. Vor allem darf nicht vergessen werden, daß gleiche oder ähnliche Kräfte, die die Atome A und B in einem Molekül M zusammenhalten, natürlich auch ins Spiel kommen, wenn zwei gleiche derartige Moleküle M_1 und M_2 sich hinreichend nähern, so daß somit auch etwa A_1 mit B_2, B_1 mit A_2 in Wechselwirkung treten kann. Hierdurch könnte unter Umständen der Unterschied der Moleküle voneinander sich mehr oder minder verwischen, etwa wie bei einer „bunten Reihe" am Tische ja auch nicht jedes Paar sich für sich allein zu unterhalten braucht. — Nach den S. 11 oben erwähnten neueren Untersuchungen scheint in der Tat der Fall gar nicht so selten,

vielmehr in den festen Körpern sogar die Regel zu sein, daß derartige „bunte Reihen" und zwar so vollständig gebildet werden, daß man überhaupt gar nicht mehr von einzelnen Molekülen sprechen kann. Das Beispiel des Kochsalzes NaCl wird die Sache am besten verdeutlichen. Wie Abb. 1 zeigt, muß man sich in einem Kochsalzkrystall die Na- und Cl-Atome in den Ecken von Würfeln denken, sie bilden so, immer miteinander abwechselnd, ein regelmäßiges „Raumgitter" (Begründung s. Anm. 57). Es ist offenbar, daß hier von einzelnen Molekülen NaCl gar nicht mehr gesprochen werden kann, da ja jedes Na-Atom mit sechs Cl-Atomen ganz gleichmäßig verbunden ist; vielmehr bildet der ganze Krystall sozusagen ein einziges Molekül. Hingegen hat man etwa im dampfförmigen Kochsalz im wesentlichen NaCl-Moleküle anzunehmen, d. h. es müssen bei der Verdampfung eines Kochsalzkrystalls immer ein Na und ein Cl gemeinschaftlich das „Raumgitter" verlassen. Ähnlich bei der Auflösung in einer Flüssigkeit unter bestimmten Voraussetzungen. Man kann danach heute geradezu von Körpern mit „atomarer" und solchen mit molekularer Struktur reden. Zu ersteren sind wahrscheinlich die meisten oder wenigstens sehr viele krystallisierte Stoffe zu rechnen. Für diese verliert dann freilich die Wertigkeitslehre auch teilweise ihre frühere Bedeutung. Es bleibt hier jedoch alles der Spezialforschung vorbehalten.

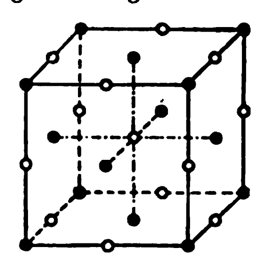


Abb. 1. Aufbau des Kochsalzes. ● Na-, ○ Cl-Atome.

Wir haben nun unserem Bilde nur noch einen wesentlichen Zug hinzuzufügen. Wie wir nämlich später noch ausführlicher zu erörtern haben werden, muß weiter angenommen werden, daß die Moleküle aller Stoffe in dauernder Bewegung begriffen sind („Kinetische Theorie" s. S. 77). Diese Bewegung stellt das vor, was unsere Hautnerven als Wärme empfinden und die verschiedene Temperatur entspricht der rascheren oder langsameren Bewegung. Es bewegen sich jedoch nicht nur die Moleküle als Ganzes, sondern auch die Atome innerhalb des Molekülkomplexes gegeneinander. Die Unterschiede der drei Aggregatzustände lassen sich dann so formulieren: In den Gasen fliegen die Moleküle frei wie Mücken in einem Mückenschwarm durcheinander, nur bei größerer Annäherung zweier Moleküle aneinander findet eine gegenseitige Einwirkung statt, die eine Ablenkung beider aus ihrer Bahn zur Folge hat, ohne daß

jedoch dabei im ganzen Bewegungsenergie verloren geht, ähnlich wie bei einem Zusammenprall zweier vollkommen elastischer Billardkugeln. In den Flüssigkeiten steht jedes Molekül schon dauernd unter der Einwirkung seiner Nachbarn, kann sich aber doch noch zwischen diesen hindurchschieben. In den festen Körpern endlich sind diese Einwirkungen so stark, daß das Molekül bzw. die einzelnen Atome im ganzen nicht mehr von der Stelle kommen, sondern nur um eine Mittellage pendelnde Bewegungen ausführen können (s. o.). — Hiernach liegen die Verhältnisse am einfachsten bei den Gasen, daher auch nur für diese eine so einfache Regel gilt, wie das oben erwähnte Avogadrosche Gesetz. Unter allen Gasen sind dann offenbar die einatomigen wieder die einfachsten, da bei ihnen Bewegungen der Atome im Molekül gegen einander nicht in Frage kommen. Der historische Zufall, daß diese Gase erst in jüngster Zeit besser bekannt und näher untersucht wurden, hat der ganzen Molekulartheorie viele Schwierigkeiten verursacht, die im anderen Falle ohne weiteres weggefallen wären.

Soweit die Darstellung der Grundzüge der heutigen Molekular- und Atomtheorie. Wir werden im Laufe der folgenden Erörterungen das Bild noch vielfach zu ergänzen Gelegenheit haben und fragen uns nun: *Welches Recht besitzen diese*, wie es bis so weit scheint, doch recht *hypothetischen Vorstellungen in der Wissenschaft?* Wir bemerken hier gleich vorweg, daß die Antwort, die wir auf diese Frage geben werden, von größtem allgemeinen erkenntnistheoretischem Interesse ist, da die Atomistik von jeher mit Recht als Urbild aller physikalisch-chemischen Hypothesen überhaupt betrachtet worden ist, also das, was über sie zu sagen ist, in weitgehendstem Maße auch auf andere physikalische Hypothesen zutreffen wird. Die einfache Antwort auf unsere Frage heißt heute: Die Wissenschaft gebraucht diese Vorstellungen mit genau demselben Recht, wie sie die Vorstellung von den Zellen einer Pflanze oder den Sandkörnern eines Sandsteinfelsens gebraucht und *gebrauchen muß*. *Die Moleküle und Atome existieren außer allem Zweifel ebenso wirklich, wie die Ziegelsteine in einer Mauer oder jene Zellen und Sandkörner existieren. Soweit man überhaupt von realen Dingen der Außenwelt, von Steinen, Wassertropfen, Tieren, Bergen, Fixsternen usw. reden kann, sind auch jene submikroskopisch kleinen Dinge real* oder besser: ist auch die körnige Struktur der Materie, ihr Aufbau aus solchen kleinen Einheiten

eine reale Tatsache. — Diese Sätze klingen sehr kategorisch, und ehe wir die erkenntnistheoretischen Folgerungen daraus ziehen, müssen wir sie rechtfertigen.

Bis vor etwa 20—30 Jahren war die Atom- und Molekularhypothese tatsächlich Hypothese, d. h. Vermutung. Es gab keine direkten Beweise für die Existenz dieser Teilchen. Man konnte nur zeigen, daß alle Erscheinungen sich am einfachsten erklären lassen, wenn man diese Annahmen macht, anders gesagt: Die Dinge verhielten sich so, als ob sie aus Molekülen und Atomen beständen. Diese indirekte Bestätigung der Hypothese war nun freilich sehr umfassend, so umfassend, daß man füglich schon damals behaupten konnte, unsere ganze Physik und Chemie fiele ohne diese Konstruktion in sich zusammen. Herrschte aber auch hierüber keinerlei Meinungsverschiedenheit, so gab es doch zahlreiche Physiker und Chemiker, die sich nicht gern auf nähere Fragen nach der Existenz und der Beschaffenheit der fraglichen Teilchen einließen, die sich vielmehr auf den Standpunkt stellten, daß die Hypothese ja ihre Brauchbarkeit als Erklärungsprinzip genugsam erwiesen habe. Das Fragen nach ihrer Realität sei überflüssig und womöglich gar sinnlos. Man solle zufrieden sein mit dem, was sie leiste, aber unfruchtbare Spekulationen über diese doch nur in der Vorstellung existierenden, in der Erfahrung nicht aufweisbaren Dinge unterlassen. Diese Auffassung, welche vor allem durch Mach und Ostwald vertreten wurde, hatte sich gegen das letzte Jahrzehnt des Jahrhunderts so stark fast in der gesamten Forscherwelt durchgesetzt, daß kaum ein Lehrbuch der Physik oder Chemie erschien, in dem nicht ähnliche Gedanken über physikalische Hypothesen im allgemeinen und die Atomistik im besonderen in der Einleitung oder an passender Stelle ihren Platz fanden, ebenso klingt sie durch ungezählte akademische Antritts- und Festreden jener Zeit, wie auch aus einer Unzahl popularisierender Schriften hervor. Ja die meisten Forscher waren wohl geneigt zu glauben, daß der Zeitpunkt nicht mehr fern sei, wo die ganze Atomistik, wie einst die Phlogistontheorie Stahls oder Berzelius' elektrochemische Hypothese, ein überwundener Standpunkt sein würde, wo sie als „Gerüst erscheinen werde, das abgebrochen wird, wenn der Bau fertig ist“. Es wurden ausdrücklich zu diesem Zwecke, z. B. von Ostwald und seinem Mitarbeiter F. Wald, Versuche unternommen, die Atomistik bei der Begründung gewisser chemischer Grundgesetze auszuschalten, also eine „hypothesenfreie Chemie“ herbeiführen zu helfen. Nur wenige bedeutende Forscher, so

Boltzmann, einer der Hauptförderer der kinetischen Wärmetheorie, hielten daran fest, daß der Atomistik noch eine glänzende Zukunft bevorstände, drangen jedoch nicht damit durch. Die Verbitterung über diese Verkennung der Sache, die er zu seinem Lebenswerk gemacht hatte, trug zu Boltzmanns vorzeitigem Tode wesentlich bei*.

Man muß sich diese Situation möglichst deutlich vor Augen halten, um den ganzen gewaltigen Umschwung zu ermessen, der seitdem Platz gegriffen hat. Es gibt heute wohl keinen unter unseren namhaften Forschern mehr, der im Ernst bestritte, daß in irgendeiner Weise die Annahme der Moleküle (und Atome) einem wirklichen Sachverhalt entspricht. Selbst Ostwald, der vordem eifrigste Bekämpfer dieser Lehren, schreibt in einer Neuauflage seines Grundrisses der allgemeinen Chemie, daß an der Tatsache der körnigen Struktur der Materie wohl nicht mehr gezweifelt werden könne. Dieser Umschwung ist dadurch bewirkt worden, daß es in der Tat seither gelungen ist, direkte Beweise für die Existenz dieser „Mikrostruktur" zu erbringen. Wir wollen die wichtigsten anführen.

1. Es ist eine Tatsache, daß alle Materie in hinreichend dünnen Schichten, nämlich sobald die Dicke dieser Schichten der Grenze $1 \mu\mu$ nahekommt, ziemlich unvermittelt andere Eigenschaften annimmt, als sie in dickeren Schichten hat. Sehr dünne Metallschichten auf Glasplatten verhalten sich z. B. hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit von einer gewissen Grenze an, als ob sie löcherig wären. Das gleiche gilt hinsichtlich anderer Eigenschaften für Seifenblasen, dünne Ölhäute auf Wasser u. a. m. Die sehr zahlreichen Forschungen dieser Art aus den letzten drei Jahrzehnten haben übereinstimmend das Ergebnis gehabt, daß diese plötzliche Änderung der Eigenschaften nahe der anderweitig bereits bekannten Grenze der molekularen Wirkungssphäre eintritt. Es ist kaum eine andere Erklärung denkbar, als die, daß selbstredend eine nur ein oder zwei Moleküle dicke Schicht in ihren ganzen Zusammenhangsbedingungen anders beschaffen ist, als eine 20 oder 100 oder mehr Moleküle in der Dicke enthaltende*.

2. In den letzten Jahrzehnten ist ein neues Gebiet der physikalisch-chemischen Forschung in der Kolloidchemie erstanden, das einer seiner Hauptforscher, Wo. Ostwald, nicht übel in einem neueren Werk als „die Welt der vernachlässigten Dimensionen" bezeichnet. Um dies zu erklären, müssen wir ein wenig ausholen. Man unterschied früher streng zwischen den beiden Fällen, daß ein fester Körper oder eine Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit löslich oder unlöslich sei. Salz ist bei-

spielsweise in Wasser löslich, Schwefel unlöslich, letzterer ist in Schwefelkohlenstoff löslich, dieser wieder in Wasser unlöslich (nicht mit Wasser mischbar). Nun kann man trotzdem natürlich einen in einer Flüssigkeit unlöslichen anderen flüssigen oder festen Körper in so außerordentlich feine Teilchen zerreiben oder zerschütteln, daß diese in der Flüssigkeit, in der sie „unlöslich" sind, eine ganze Zeitlang schweben, ehe sie sich unten oder oben wieder absetzen. Eine solche innige Mischung heißt eine Suspension oder Emulsion. Ist ein fester Körper in der Flüssigkeit zerteilt, wie z. B. in der Tinte gerbsaures Eisen, so spricht man von Suspension, ist es eine andere Flüssigkeit, wie z. B. die Fettröpfchen in der Milch, so haben wir eine Emulsion. Von einer „echten Lösung" (Kochsalz-, Zuckerlösung) unterscheiden sich diese Mischungen schon äußerlich durch ihr trübes Aussehen, ferner dadurch, daß der suspendierte Stoff sich nach einiger Zeit stets dem spezifischen Gewicht entsprechend unten oder oben ansammelt, oder mindestens durch Zentrifugieren leicht abgeschieden werden kann (Milch), endlich auch dadurch, daß man schon unter einem gewöhnlichen Mikroskop deutlich die einzelnen suspendierten Körperchen erkennt. Allein der alte Grundsatz: natura non facit saltus bewährt sich hier nun wieder einmal. Schon seit etwa 100 Jahren kennt man Stoffgemische und neuerdings hat man unzählige andere dazu kennen gelernt, die in dieses Schema: Lösung oder Suspension durchaus nicht passen wollen, da sie aus dem einen Grunde hierhin, aus dem anderen dahin zu gehören scheinen. Diese zuerst von Graham (1861) näher untersuchten Gemische nannte er, weil Leim (lat. colla) ein Hauptbeispiel derselben bildet, Kolloide oder kolloidale Lösungen. — Die sehr ausgedehnte Forschung der letzten Jahrzehnte hat nun ergeben, daß diese Kolloide einen völlig kontinuierlichen Übergang von den Suspensionen und Emulsionen zu den echten Lösungen bilden, so daß es schlechterdings unmöglich wird, eine Grenze zu ziehen. Durch geringe Veränderungen der Herstellungsbedingungen kann man die Größe der in der Flüssigkeit zerteilten Partikelchen in weiten Grenzen ändern. Es gibt Kolloide, die sich schon durch ihr trübes Aussehen als den Suspensionen nahestehend erweisen, geringe Veränderungen der Entstehungsbedingungen können aber in vielen solchen Fällen dann den gleichen Stoff auch in eine kolloidale Lösung bringen, die völlig klar aussieht, sogar unter dem Mikroskop noch homogen erscheint, aber im Ultramikroskop (bei seitlicher Beleuchtung) die suspendierten Teilchen

doch noch erkennen läßt. In anderen Fällen sind nun wieder derartige ultramikroskopisch feststellbare Kolloide kontinuierlich verbunden mit solchen, wo selbst das feinste unserer optischen Hilfsmittel versagt, wo jedoch durch ein von Bechhold erfundenes, sinnreiches Filtrationsverfahren, die sog. „Ultrafiltration" doch noch eine Trennung erreicht werden kann. Versagt auch diese Trennungsmethode, weil wieder durch eine geringe Veränderung (stets völlig kontinuierlich!) die Teilchen noch ein wenig kleiner geworden sind, so führt Zentrifugieren unter Umständen noch zum Ziel, damit aber sind wir nun schon bei Mischungen angelangt, die ohne Zweifel von jeher den echten Lösungen zugerechnet wurden. Bechhold konnte z. B. Dextrinlösung noch durch Ultrafiltration großenteils trennen, Lobry de Bruyn sogar in Zuckerlösung durch Zentrifugieren Konzentrationsunterschiede hervorrufen (der schwerere Zucker geht nach außen). Am meisten hat sich The Svedberg um den Nachweis der völligen Kontinuität verdient gemacht. Ist es aber so, dann folgt, daß das, was den Kolloiden recht ist, den „echten Lösungen" billig ist. Zweifelt bei jenen, wenn durch eine kleine Temperatur- oder Konzentrationsänderung die Teilchengröße so weit verkleinert ist, daß sie eben mikroskopisch unsichtbar werden, kein Mensch daran, daß deshalb die Teilchen doch noch existieren, (was zum Überfluß eventl. die Ultrafiltration beweist), so kann man auch nicht zweifeln, daß sie auch dann noch existieren, wenn abermals durch eine kleine Änderung ein Produkt gewonnen ist, das alle Eigenschaften einer „echten Lösung" besitzt. Damit aber sind wir dann bei den Molekulargrößen angelangt, denn die quantitative Verfolgung aller dieser Erscheinungen ergibt, daß dieser Übergang eben bei derjenigen (nicht mehr sichtbaren) Teilchengröße erfolgt, die man für die Moleküle schon anderweitig herausgerechnet hatte. Ich bemerke ausdrücklich, daß die Lektüre der Originalarbeiten Svedbergs um vieles überzeugender wirkt, als eine solche summarische Darstellung es jemals leisten kann.

Hinzugefügt mag werden, daß durch die quantitative Untersuchung solcher Suspensionen und Kolloide sich auch Mittel und Wege zur Bestimmung absoluter Molekulargrößen und somit zur Ermittlung der Loschmidtschen Zahl ergeben. Die berühmteste Untersuchung dieser Art ist die von Perrin. Der dabei erhaltene Wert von N stimmt glänzend zu den auf anderen Wegen erhaltenen (s. auf S. 23).

3. Noch zwingender, weil unmittelbar anschaulich, erscheinen die Beweise, die wir den neueren Untersuchungen der Radioaktivität und ver-

wandter Erscheinungen verdanken. Wir können auf die Einzelheiten derselben, da ihr Verständnis neue Begriffsentwicklungen voraussetzt, hier noch nicht eingehen, sondern müssen uns mit der Bemerkung begnügen, daß bei den fraglichen Untersuchungen zwar nicht einzelne Atome oder Moleküle selber, wohl aber W i r k u n g e n einzelner Atome oder Moleküle direkt sichtbar gemacht, ja sogar photographiert werden (s. S. 114), so daß man die Bahn eines einzelnen solchen Teilchens in dem umgebenden Gasraum direkt verfolgen und die Zahl dieser von einem kleinen Radiumquantum in einer bestimmten Zeit ausgeschleuderten elektrisch geladenen Teilchen direkt abzählen kann. Auf diese Weise ergeben sich wiederum Bestimmungen der absoluten Molekulargrößen und -Anzahlen, die mit dem oben angegebenen Werte der Loschmidtschen Zahl glänzend übereinstimmen.

4. Ähnlich wie bei den radioaktiven Vorgängen Atome mit elektrischen Ladungen den Raum durchqueren und einzeln abzählbar sind, kann man auch in Gasen suspendierte Teilchen anderer Stoffe, die elektrische Ladungen tragen, untersuchen und auf diesem Wege wieder zur Bestimmung der Atomkonstanten kommen mit demselben Ergebnis wie vorher (Ehrenhaft-Millikan). Näheres muß hier übergangen werden.

5. In den krystallisierten Stoffen nehmen die Moleküle bzw. Atome nach allem, was wir wissen, gesetzmäßig geordnete Stellungen ein, sie bilden ein „Punktgitter" im Raume, wie schon oben erwähnt. Nun wirkt eine solche regelmäßige Gitteranordnung von passender Feinheit auf die Lichtwellen, wie man seit langem weiß, derart ein, daß sog. Beugungserscheinungen entstehen. Jedermann kennt die Höfe, die um Sonne oder Mond sichtbar sind, wenn feine Eisnadeln in der Luft schweben, ebenso die farbigen Ringe um eine Gasflamme, wenn man sie durch eine bestaubte oder behauchte Glasscheibe betrachtet. Diese Erscheinungen, welche seit mehr als 100 Jahren in der Optik genau untersucht und vollständig aus der Wellentheorie erklärt sind, müßten nun auch eintreten, wenn Lichtwellen durch ein solches regelmäßiges Punktgitter, wie es ein Krystall ist, hindurchgehen. Vorausgesetzt ist jedoch dabei, daß die Größe der Lichtwellen (die „Wellenlänge") annähernd vergleichbar ist mit dem Abstand der Gitterpunkte. Dies ist nun aber bei den gewöhnlichen Lichtwellen nicht der Fall, ihre Wellenlänge (s. S. 99) beträgt 800—400 $\mu\mu$, während die Molekularabstände, wie wir sahen, bei rund $1 \mu\mu$ liegen. Die Lichtwellen sind also viel zu groß. Sie verhalten sich zu den Molekülen etwa wie Meereswellen zu einem gröberen Eisendrahtsieb. Dabei sind, wie die Theorie

zeigt, keine solchen Beugungserscheinungen möglich. Allein wir kennen eine Lichtart, die viel kürzere Wellenlängen hat, die Röntgenstrahlen. Bei ihnen liegt die Wellenlänge in der Nähe von 1 $\mu\mu$. Es gelang nun Laue und seinen Mitarbeitern Friedrich und Knipping tatsächlich mit Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Krystallplatten wundervoll scharfe Beugungsbilder zu erhalten und so eine neue schöne Bestätigung von deren gitterartigem Aufbau, damit aber auch der Molekulartheorie überhaupt zu liefern (Abb. 2).

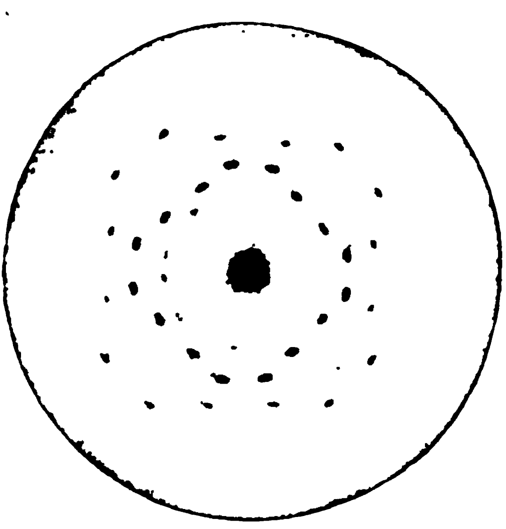


Abb. 2. Lauesches Beugungsbild an einer Steinsalzplatte.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß schon die bloße Grundtatsache der Krystallographie, nämlich die Existenz von 32 möglichen Arten der Krystallformen ebenfalls eine gute Bestätigung der Molekulartheorie ist, da sich diese 32 Arten, wie Bravais, Sohncke, Schönfließ u. a. gezeigt haben, gerade auch theoretisch als mögliche Formen solcher regelmäßiger „Punktgitter" herleiten lassen.

6. Fast ebenso schlagend, wie diese direkten „Beweise für die körperliche Existenz der Moleküle" wirken die in neuerer Zeit zu den bisher schon bestehenden hinzugekommenen indirekten Bestätigungen der Theorie. Ganz besonders hervorgehoben zu werden verdienen gewisse neuere Ergebnisse der kinetischen Wärmetheorie und zwar insonderheit der kinetischen Gastheorie. Es wurde schon oben Loschmidts erste Berechnung von N angeführt. Diese stützte sich auf gewisse von Maxwell, van der Waals, O. E. Meyer u. a. abgeleitete Formeln der kinetischen Gastheorie, in denen bestimmte experimentell meßbare Größen, so vor allem der sog. Koeffizient der inneren Reibung eines Gases, ferner die Diffusionsgeschwindigkeit, die Wärmeleitfähigkeit u. a. verknüpft sind mit gewissen molekularen Größen, vor allem

der „mittleren freien Weglänge" eines Gasmoleküls, d. h. der Strecke, die im Durchschnitt ein Gasmolekül frei durchfliegt, ehe es mit einem anderen Molekül zusammenstößt. Loschmidt hat dann als erster gezeigt, wie man aus dieser so erschlossenen „Weglänge" durch eine ganz einfache Rechnung N finden kann. Seine Ergebnisse für N waren jedoch gänzlich verschieden je nach der Wahl des Gases, dessen Konstanten man der Rechnung zugrunde legte (z. B. für Wasserstoff 11, für Cyan 89 Trillionen). Da dies ein krasser Widerspruch gegen die anderweitig zweifelsfrei gesicherte Avogadrosche Regel ist, so sah man sich damals genötigt, diese ganzen Rechnungen doch mit großem Mißtrauen zu betrachten. Höchstens die Größenordnung von N konnte einigermaßen als wahrscheinlich gelten. Es ist auch leicht zu erkennen, daß die Rechnung, so wie sie Loschmidt im Anschluß an seine Vorgänger anstellte, gar nicht zu einwandfreien Ergebnissen führen konnte. Denn die Ableitungen der oben genannten Forscher beruhen sämtlich auf vereinfachenden Annahmen über den Mechanismus des Zusammenstoßes zweier Moleküle, über die Art, wie ein Molekül den von ihm eingenommenen Raum erfüllt (das „Eigenvolum" des Moleküls) u. a., Annahmen, die sicher bei allen irgendwie verwickelter gebauten Molekülen hinter der Wirklichkeit weit zurückbleiben. Man muß diese Annahmen in Ermangelung eines besseren machen, um überhaupt zu einem mathematischen Ansatz zu kommen, braucht sich aber nicht zu wundern, wenn das so Abgeleitete nachher doch nur sehr angenähert gilt. Es liegt nun nahe, sich zu fragen, welche Gase denn wohl am ehesten ein richtiges Resultat ergeben werden. Selbstverständlich sind dies die einatomigen. Solche sind nun aber erst in neuerer Zeit der Untersuchung zugänglich geworden, seitdem Ramsays, Rayleighs und anderer Entdeckungen uns mit den Edelgasen: Helium, Argon, Neon usw. bekannt gemacht haben. Und hier ergibt sich nun wirklich eine vortreffliche Bestätigung der Theorie. Es zeigte sich nicht nur, daß bei diesen Gasen, insbesondere bei Helium und Argon, zahlreiche der von der Theorie geforderten Beziehungen streng gültig sind, die bei anderen Gasen nur angenähert gelten, es ergaben sich vor allem auf Loschmidts Wegen Zahlenwerte für N, die mit dem schon bekannten fast identisch sind: Sirk erhielt für Argon 27,9, Ghose für Helium 28,0 Trillionen.

7. So findet die ganze Theorie schließlich ihre Hauptstütze viel weniger noch in irgendeinem einzelnen direkten Beweise, mag dieser noch so hand-

greiflich sein, als vielmehr in der überraschenden Übereinstimmung aller auf den verschiedensten Wegen gewonnenen quantitativen Ergebnisse. Daß alle diese Werte rein zufällig alle denselben Betrag haben sollten, ist selbstverständlich ganz ausgeschlossen.

Wir geben hier eine kleine Zusammenstellung[19], die indessen keineswegs vollständig ist.

Autor	Methode	N in Trillionen (10^{18})
(O. E. Meyer, Chapmann u. a. nach v. d. Waals	Kin. Gastheorie	(1—106)
Sirk	Kin. Gastheorie (Argon)	27,9
Ghose	Desgl. (Helium)	28
Perrin	Suspensionen Brownsche Bewegung	(29—31)
Svedberg	desgl.	27,7
Ehrenhaft	Zerstäubung von Metallen	27,6
Millikan	ähnlich	26,4
Rutherford-Geiger	Radioaktivität	27,8
Regener	„	27,0
Rutherford-Boltwood . . .	„	27,0
Mittel der nicht eingeklammerten Werte	. . . .	27,4

Der Mittelwert stimmt vortrefflich zu dem sichersten Wert aus der Planckschen Strahlungstheorie (s. S. 128) $N = 27,5 \cdot 10^{18}$. Für das Gewicht eines Wasserstoffatoms ergibt sich aus diesem der Wert $1,64 \cdot 10^{-24}$ (Quadrillionstel) g, für das elektrische „Elementarquantum“ (s. S. 113) $\varepsilon = 4,69 \cdot 10^{-10}$ elektrost. Einheiten oder $0,156 \cdot 10^{-18}$ (Trillionstel) Coulombs.

Wir wenden uns nunmehr den erkenntnistheoretischen Folgerungen zu, die wir aus der in den letzten beiden Jahrzehnten unter unseren Augen vollzogenen völligen Umwandlung in der Wertschätzung der Atomistik zu ziehen haben. Diese Folgen sind viel weittragender, als man gemeinhin sich klar macht. Es ist nötig, daß wir uns zunächst vergegenwärtigen, was denn nun eigentlich mit der bewiesenen „wirklichen Existenz“ der Moleküle gemeint ist.

Unser durch die Jahrhunderte erkenntnistheoretischer Arbeit verfeinertes, vielleicht überfeinertes Gewissen wird bei alle dem, was wir hier als Beweise für die Existenz der Moleküle angeführt haben, doch so leicht das unbehagliche Gefühl nicht los werden, daß es sich trotzdem und alledem nun doch einmal um Dinge handle, die kein Mensch wirklich direkt gesehen habe, die also der sog. „unmittelbaren Sinneserfahrung“ entzogen seien. Es ist auch schon oben angedeutet, daß ein einzelnes Molekül nach der Theorie selber gar nicht sichtbar sein kann, da es viel zu klein ist, als daß

es die viel größeren Lichtwellen beeinflussen könnte. Auch in den oben S. 20 angeführten und später (S. 113) genauer zu erörternden Versuchen Regeners, Rutherfords, und vor allem auf C. T. R. Wilsons Photographien (S. 114) sieht man nicht das einzelne sich bewegende Teilchen selber, sondern die Wirkung desselben, einen Lichtblitz, einen Galvanometerausschlag, einen Streifen feiner Wassertröpfchen, die die Bewegung eines solchen Teilchens in dem umgebenden Stoffe erzeugt. Dürfen wir nun trotzdem diese Versuche noch als direkte Erweise der „wirklichen Existenz" jener Teilchen bezeichnen? Oder ist nicht „wirklich" vielmehr im engsten Sinne nur das, was den Sinnen direkt wahrnehmbar ist? Mit dieser Frage sind wir nun aus der Physik schon in die Erkenntnistheorie hinübergewandert, denn nichts anderes als diese Frage: Was ist „Wirklichkeit"? ist ja das eigentliche Grundproblem der Erkenntnistheorie. Doch brauchen wir uns zum Glück deshalb nicht direkt in eine allgemeine, grundsätzliche Erörterung dieses Problems zu vertiefen, können uns vielmehr einstweilen mit einer relativen Antwort begnügen. Wir können nämlich, ohne der Frage näher zu treten, was „Wirklichkeit" eigentlich heißt, ohne Locke, Hume und Kant, Mach, Vaihinger und Natorp, Hartmann, Meinong, Külpe und wie sie alle heißen, zu zitieren, uns einfach zunächst einmal fragen, ob auch ein Urteil wie das, daß die Moleküle existieren, in den Umkreis dessen gehört, was jeder Mensch anstandslos als Wirklichkeit bezeichnet, wie beispielsweise, daß dies Haus aus Ziegelsteinen, oder daß dies Pflanzenblatt aus Zellen bestehe. Mag jeder dieser Sätze vom Standpunkt einer „transzendentalen Logik" bedeuten, was er will, die Frage ist nur: gilt das, was von dem einen gilt, dann auch von dem anderen. Wenn wir auf diesem Wege etwa schließlich auch dem Grundproblem der Erkenntnistheorie näher kommen sollten, um so besser. Einstweilen bescheiden wir uns jedenfalls bei der angeführten *relativen Frage: Sind die Moleküle ebenso und in demselben Sinne wirklich wie Ziegelsteine oder Pflanzenzellen?* Der erste Eindruck läßt uns Nein sagen, denn Ziegelsteine kann man sehen, Pflanzenzellen wenigstens im Mikroskop sichtbar machen, Moleküle aber nicht. Ist nun dies Urteil zutreffend? Die Physik belehrt uns, daß die Sichtbarkeit eines Körpers davon abhängt, wie er sich zu den auf ihn treffenden Lichtwellen verhält. In einer Umgebung von gleichem Brechungsindex ist ein Körper unsichtbar, da er die Lichtwellen in diesem Falle gar nicht beeinflußt. — Aber auch wenn er sehr klein ist, beeinflußt er sie nicht mehr so, daß wir

noch Gestalt und Größe an ihm wahrnehmen können. Allerdings kann er trotzdem noch eine Lichtwahrnehmung in unserem Auge verursachen, die jedermann als von ihm verursacht und damit als einen Beweis seiner Existenz ansehen wird.

Wie nämlich schon oben erwähnt wurde, kann man bei seitlicher Beleuchtung mit äußerst stark vergrößernden Apparaten (Ultramikroskop) auch noch solche kleine Teilchen als Lichtpünktchen erkennen, die bei direkter Beleuchtung nicht mehr sichtbar sind. Dies beruht darauf, daß derartig kleine Körperchen durch die Lichtwellen selber zur Aussendung von Licht nach allen Seiten angeregt werden. — Aus dem ganzen Sachverhalt, den jedermann im Groben von den Sonnenstäubchen her kennt, geht aufs deutlichste hervor, daß zum mindesten die Erkennbarkeit von Form und Größe somit nicht als Kriterium der „Wirklichkeit" anzusprechen ist, obwohl es uns zweifelsohne in den meisten Fällen, wo wir von der „Sichtbarkeit eines Gegenstandes sprechen, hauptsächlich auf diese beiden ankommt. Gehen wir aber jetzt einen Schritt weiter. In kolloidalen Goldlösungen (s. o.) sieht man unter dem Ultramikroskop die einzelnen Goldteilchen als Lichtpünktchen. Niemand bezweifelt, daß es die Goldteilchen sind, obwohl der Gesichtseindruck mit dem, welchen ein Stück massives Gold verursacht, nicht das geringste gemein hat. Wir glauben dies nur deshalb, weil wir durch Hinzufügen gewisser Reagentien mit Leichtigkeit aus jener Lösung einen braunen Schlamm niederschlagen können, wobei dann jene Lichtpünktchen sich zunächst zusammenballen und dann ganz verschwinden, und weil sich schließlich dieser braune Schlamm durch allerlei andere Verfahren in gewöhnliches gelbes glänzendes Gold verwandeln läßt. Ganz ebenso aber ergeht es uns nun überall, wenn wir irgend eine sog. „direkte Wahrnehmung" genauer analysieren. Wir finden überall, daß es sich dabei um eine ganze lange Kette, ein oft fast unentwirrbares Netz von einzelnen Sinnesempfindungen und daran geknüpften Verstandesschlüssen handelt, wie das ja auch schon deutlich daraus zu erkennen ist, daß unsere kleinen Kinder Jahre gebrauchen, bis sie alle diese Verknüpfungen beherrschen lernen. Jede scheinbar noch so einfache „Tatsache", wie z. B. die, daß dies Haus aus Ziegelsteinen besteht, erweist sich als ein unendlich verwickelter Komplex von Sinnesdaten und Verstandeskombinationen. Die einzelnen Fälle unterscheiden sich voneinander lediglich durch den Grad der Verwickeltheit der letzteren und die Art der ersteren. Man nehme solche „Tatsachen", wie die Existenz der

Luft, die ja wohl niemand bestreitet, oder die Kugelform der Erde, die der Sonne oder der Fixsterne usw., und man wird sich leicht überzeugen, daß es schlechterdings unmöglich ist, innerhalb dieser Urteile eine Grenze zu ziehen, daß es sich vielmehr lediglich um Stufenunterschiede handelt. Weder die Sichtbarkeit noch die Tastbarkeit noch irgendeine andere Wahrnehmung kann für sich allein als Kriterium der „Wirklichkeit" ausgegeben werden, da das nichts weiter als die naivste Bevorzugung einer Kategorie von Wahrnehmungen vor allen anderen bedeuten würde. (Ganz abgesehen hier von der erkenntnistheoretisch-psychologischen Streitfrage, inwieweit schon in allem „Wahrnehmen" selbst verstandesmäßiges Urteilen mit steckt.)

Je weiter nun der Weg, den uns die Verstandesschlüsse führen, sich erstreckt, um so unsicherer erscheinen uns leicht die betr. Ergebnisse. In Wirklichkeit steckt jedoch die überzeugende Kraft, die „Evidenz" der uns allen als „Tatsachen" von Kindesbeinen an geläufigen Urteile viel weniger in der geringeren Verwickeltheit der zu ihrer Aufstellung notwendigen Verstandeskombinationen, als vielmehr in ihrer allseitigen Verankerung in dem ganzen Komplex unserer Erfahrung. Der Eindruck, daß kompliziertere Folgerungen, wie z. B. die Kugelform der Sonne, mehr hypothetisch seien, als beispielsweise die Folgerung, daß die Erde kugelförmig ist, entsteht dadurch, daß jene Folgerung sich auf eine erheblich geringere Anzahl von Wahrnehmungen stützt, als diese, d. h. anders gesagt, daß sie nicht mit so vielen anderen „Tatsachen" in einem logisch aufweisbaren Zusammenhange steht. Hieraus sieht man sofort, *daß in diesem Zusammenhange selbst das einzige haltbare Kriterium der Wirklichkeit oder Tatsächlichkeit gegeben ist. Die einzelne Teilerkenntnis ist um so gesicherter, je vollständiger und vielseitiger sie sich in das gesamte Erkenntnissystem einfügt. Ein anderes Kriterium für „Wirklichkeit" gibt es nicht.* Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkte die Molekulartheorie, so kann es nach dem oben dargelegten gar keinem Zweifel unterliegen, daß die Moleküle in genau demselben Sinne wirklich existieren, wie anderes „Wirkliche". Nicht als ob diese Behauptung damit absolute Gewißheit hätte. Die hat sie ebensowenig wie jedes andere naturwissenschaftliche Urteil. Jede einzelne Erkenntnis bleibt einer stets erneuerten Verbesserung und Ergänzung ausgesetzt. Wer aber daraus, daß jeder einzelne Stein an dem großen Erkenntnisgebäude für sich allein vielleicht einmal schadhaft werden kann,

folgern wollte, daß deshalb das ganze Gebäude eines Tages zusammenbrechen könnte, der hat von dem Geist der Wissenschaft noch keinen Hauch verspürt. Denn niemand anderes korrigiert doch die Wissenschaft, als die Wissenschaft selbst. So kann der höchste überhaupt denkbare Grad von Gewißheit nichts anderem zugesprochen werden, als diesem Gesamtsystem der Wissenschaft selber, das alle seine einzelnen Glieder trägt und stützt. Den wahnsinnigen Gedanken, dieses Ganze könnte eine einzige ungeheure Täuschung sein, zu widerlegen, lohnt sich nicht und ist auch ganz unmöglich, denn auf welche „Beweisgründe" sollte die Existenzmöglichkeit der Wissenschaft gestützt werden? Sie ist eben da, die Erkenntnistheorie kann nichts anderes tun, als den Versuch machen, sie zu analysieren, ihre Grundlagen etwa in der Weise herauszuschälen, wie es die Mathematiker mit den Axiomen der Geometrie getan haben. Das ist aber nie möglich, ohne die Existenz der Wissenschaft selbst als Ganzes vorauszusetzen.

Hier knüpft sich nun naturgemäß eine allgemeine erkenntnistheoretische Frage an, die Frage nach

Bedeutung und Wert physikalischer Hypothesen.

Es ist dies die Frage, die wohl mehr als irgendeine andere erkenntnistheoretische Frage auch von seiten der Naturforscher selbst bearbeitet worden ist und noch wird. Wir wollen die Molekularhypothese dabei ausdrücklich als typisches Beispiel in erster Linie überall herbeiziehen. Daß sie das ist, haben von jeher sowohl ihre Freunde wie ihre Gegner ausdrücklich erklärt, die letzteren (Ostwald, Stallo, Mach u. a.) vielleicht am deutlichsten. Sie dürfen sich also nicht beklagen, wenn dieses ihr eigenes Lieblingsobjekt jetzt auch als Musterbeispiel aller physikalischen Hypothesen überhaupt gegen sie ausgespielt wird.

Bis vor kurzem, vielleicht sogar bis heute, war es in der gesamten wissenschaftlich-physikalischen Welt eine so gut wie ausgemachte Sache, daß die Bedeutung der Hypothese für die Physik in der Richtung zu suchen sei, die von Kirchhoff und Hertz angegeben, von Mach dann in die äußersten Konsequenzen verfolgt ist. Den klassischen Ausdruck haben dieser Auffassung die zuerst genannten großen Physiker gegeben, Kirchhoff in seinem berühmten Worte: Aufgabe der Naturwissenschaften sei es, die in der Natur vor sich gehenden

Erscheinungen möglichst vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Hertz in der Einleitung zu seiner Mechanik, wo sich der bekannte Ausspruch findet: Die Hypothesen seien Bilder oder Modelle, die sich der Mensch von den Naturerscheinungen mache. Die an diese Bilder zu stellende Anforderung sei, daß sie für die Wissenschaft fruchtbar seien. Das sei aber dann und nur dann der Fall, wenn sie, auch über den Rahmen ihrer ursprünglichen Bedeutung hinaus, sich als passend für die Darstellung der Tatsachen erwiesen, wenn, anders gesagt, „die Folgen der Bilder wieder die Bilder der Folgen" wären, oder noch anders ausgedrückt: wenn durch die Verfolgung der Hypothese in ihre Konsequenzen man auf neue, bis dahin nicht bekannte Erscheinungen geführt und diese dann durch das Experiment als zutreffend erwiesen würden.

In neuester Zeit hat von einer anderen Seite her Vaihinger in der „Philosophie des Als ob" verwandte Gedanken ausgesprochen. Er bezeichnet das, was bisher meist „Hypothese" genannt wurde, wie beispielsweise die Atomistik, als „Fiktion", als ein begrifflich konstruiertes Schema, in das der Verstand die Natur einspannt, um sie zu übersehen, dem aber in keinem Fall ein wirkliches Reale entspricht. Der Forscher kann damit zufrieden sein, wenn er eingesehen hat, daß viele physikalische und chemische Erscheinungen so verlaufen, „als ob" die Stoffe aus Molekülen und Atomen beständen. Hier ebenso, wie in jenen Aussprüchen von Kirchhoff und Hertz, die Mach sich vollständig zu eigen macht, wird also den „Hypothesen" (bzw. „Modellen" oder „Fiktionen") ein doppelter Wert zugeschrieben. Sie vereinfachen und erleichtern erstens die Beschreibung der Tatsachen, das ist ihr „denkökonomischer" Wert, wie Mach das nennt, und sie leiten zweitens zur Auffindung neuer Tatsachen hin, das pflegt man jetzt allgemein als den „heuristischen" Wert der Hypothesen zu bezeichnen. Darüber hinaus gesteht man aber den Hypothesen einen selbständigen inhaltlichen Erkenntniswert nicht zu. (Man denke hierbei als Beispiel immer an die Molekularhypothese, die auch Mach, sowie fast alle seine Anhänger, hierbei vornehmlich ins Auge gefaßt haben.) Aus dieser Auffassung der Hypothesen ergibt sich weiter, daß es keinen Sinn hat, zu fragen, ob eine Hypothese „richtig oder falsch" sei. Eine Hypothese ist „brauchbar" oder „unbrauchbar", wie eben jedes Bild oder Modell. Es wird stets brauchbar sein für den bestimmten Tatsachenkomplex, für den es erdacht ist, und es ist eine gute Hypo-

these, wenn nun diese Brauchbarkeit sich auch in weiterem Umfange erweist, als ursprünglich gemeint war. Damit muß es aber immer schließlich eine Grenze haben, denn schließlich kommen eben auch einmal Tatsachenkomplexe, die nicht mehr in diesen Rahmen passen wollen. Dann muß man sich entschließen, entweder das Bild passend zu ändern oder seine Gültigkeit ausdrücklich einzuschränken, oder ein ganz neues Bild zu erdenken, das nun beides, das Alte sowie das Neue umfaßt, natürlich mit der sicheren Aussicht, daß es hiermit nach einiger Zeit ebenso gehen wird wie vorher. Konsequenterweise ergibt sich hieraus, daß die Physik also insbesondere in betreff der Molekularhypothese niemals hätte fragen sollen, ob diese Hypothese richtig oder falsch sei, d. h. ob die Moleküle wirklich existieren oder nicht, sondern sich damit hätte begnügen müssen, festzustellen, wozu die Molekularhypothese brauchbar sei, wozu nicht, d. h. welche „Tatsachen" nach dem Prinzip der Denkökonomie in dieses Bild oder Modell sich einordnen ließen, welche darüber hinausführen. Unter Tatsachen wird hierbei stillschweigend von allen den in Frage kommenden Autoren das verstanden, was oben als allgemeiner Sinn dieses Wortes festgestellt wurde (z. B. die Zusammensetzung eines Pflanzenblattes aus Zellen usf.).

Es kann nicht scharf genug betont werden, daß diese Konsequenz: die völlig bewußte Gegenüberstellung zwischen der Molekular h y p o t h e s e und den darunter befaßten „Tatsachen" an dieser Stelle bis vor kurzem fast sämtliche Physiker und Erkenntnistheoretiker, die darüber gehandelt haben, gezogen haben. Es würde ein Leichtes sein, hier aus einer Unzahl modernster physikalischer und chemischer Lehrbücher, Schulbücher, Repetitorien, Abhandlungen, Vorträge, Antrittsreden erster Autoritäten — ganz zu schweigen von der speziell erkenntnistheoretischen Literatur — diesen Gedanken durch Zitate zu belegen[11]. Es kann, sage ich, dieser Umstand nicht scharf genug betont werden. Denn wenn sich nun auch die Atomistik endgültig durchgesetzt hat, so wird doch das philosophische Beharrungsvermögen ohne Zweifel dafür sorgen, daß damit noch lange nicht ohne weiteres auch eine gründliche Revision jenes Bild- und Modell-Standpunktes einsetzen wird, der doch die ganze jetzt so völlig ad absurdum geführte Kritik an der Atomistik eigentlich verschuldet hatte. Man braucht nur einige der maßgebenden neuesten Werke unserer Größen daraufhin anzusehen, um festzustellen, mit welcher äußersten Vorsicht nur man hier den ersten Schritt zu der Anerkennung wagt, daß sich doch vielleicht auch „die Möglichkeit einer e x p e r i m e n t e l l e n Prüfung einer Theorie

und unter Umständen auch einer experimentellen Entscheidung über die Richtigkeit ihrer Grundannahmen" ergibt[12], geschweige denn, daß jemand auf den wahrhaft ketzerischen Gedanken käme, es könnte am Ende in dem, was uns die sog. „Hypothesen" bringen wollen und sollen, das eigentliche Ziel der Wissenschaft stecken. Es wird noch lange dauern, bis man einsieht, daß nicht dieser spezielle Fall der Kritik an der Molekularhypothese, sondern jene ganze überkritische Strömung ein Irrweg war, und daß Eduard von Hartmann schließlich doch Recht behält mit dem Schlußwort seiner „Weltanschauung der modernen Physik"*): „Die Hypotheseophobie ist eine eben solche Kinderkrankheit der modernen Physik wie der Glaube an die absolute Gewißheit ihrer Lehren". Man wird vielmehr nach wie vor fröhlich das Evangelium der „hypothesenfreien Physik", der „Denkökonomie" und der „bloßen Beschreibung" in geeigneten „Formalismen" verkünden und vielfach wenigstens gar nicht merken, wie starkes Fiasko diese Auffassung bei der Molekularhypothese schon gemacht hat, die doch, wie vielleicht keine einzige andere naturwissenschaftliche Hypothese als Musterbeispiel für jene Kritik, ja oft genug als Zielscheibe des Hohnes und Spottes[13] hat herhalten müssen. — Wir wollen aber nun hier ausdrücklich die Konsequenzen aus dieser unter unseren Augen soeben vollzogenen Umwandlung des Urteils über die Molekularhypothese ziehen. Wir folgern daraus, daß der ganze Bild- und Modell-Standpunkt, mag er auch durch die Autorität einer Reihe unserer größten neueren Forscher gedeckt sein, doch eine Auffassung vom Wesen der physikalischen Hypothesen darstellt, die der Sache nicht gerecht wird.

Fragen wir uns zunächst, wie es zu jener „kritischen" Auffassung denn überhaupt kommen konnte. Vielerlei historische Bedingungen haben sicherlich hierbei zusammengewirkt, in erster Linie wohl zwei: der Niedergang des mechanistischen Materialismus der 1850er und 1860er Jahre und der Aufschwung der empiristischen Philosophie, die im Anschluß an den „Rückgang auf Kant" diesen Rückweg bis zu Hume weiter fortsetzte und so das System des modernen Positivismus schuf, als dessen klassischer Hauptvertreter unbestritten schon heute E. Mach in den Lehrbüchern der Philosophiegeschichte vor uns steht. Von dieser positivistischen Philosophie aus müssen wir also jene Kritik zu verstehen und — zu widerlegen

*) Leipzig, Haacke, 1902, zweite Auflage 1909.

suchen*), und das letztere ist in der Tat m. E. nicht so schwer. Der Grundgedanke der Machschen Philosophie selbst liefert nämlich so viel ich sehe. den Boden für diese Widerlegung. Nach Mach sind nur die einfachen Sinnesempfindungen oder etwas genauer: die einfachsten psychischen Elemente (Farben, Töne, Drucke, Räume, Zeiten . . . wohl auch einfache „Begehrungen" sind dazu zu rechnen u. a. m.), das eigentlich Wirkliche und unmittelbar Gegebene, und Aufgabe der Wissenschaft bzw. der menschlichen Erkenntnis überhaupt ist es, die zwischen diesen Elementen stattfindenden konstanten „Beziehungen"[15] aufzusuchen und auf den denbkar einfachsten Ausdruck zu bringen. Ein Ding ist nach Mach nur ein „Gedankensymbol für einen Empfindungskomplex von relativer Stabilität". Ohne uns nun hier auf eine genauere erkenntnistheoretische Würdigung dieser Auffassung überhaupt einzulassen, auf die wir in anderem Zusammenhange unten noch einmal zurückkommen werden (S. 285) können wir doch leicht so viel sehen, daß sie mit dem oben entwickelten Gedankengang vielfache Berührung aufweist, wonach unsere gesamte Naturerkenntnis als ein Versuch zu bezeichnen wäre,die Daten unserer Sinneswahrnehmungen mit Hilfe des Verstandes in ein geordnetes System zu bringen. Sie stimmt mit diesem Gedankengang wenigstens in der hier allein in Frage kommenden Konsequenz überein, daß es auch nach ihr völlig unmöglich sein sollte, innerhalb dieses Systems der Erkenntnis selbst wieder einen neuen Grenzstrich zwischen „Tatsachen" und „Hypothesen" zu ziehen. Was Mach als „wirklich" allem anderen entgegengesetzt und konsequenter Weise allein entgegensetzen kann, sind die „Elemente", d. h. die einfachsten, primi-

*) Die folgende Darlegung beschäftigt sich nur mit der positivistischen in Naturforscherkreisen meist verbreiteten Machschen Richtung. Die Aufstellungen Vaihingers, wie anderer Neukantianer, werden hierdurch nicht ohne weiteres mit getroffen, die Auseinandersetzung mit ihnen würde vielmehr von anderen Gesichtspunkten auszugehen haben, führt aber hier zu weit[14]. Vaihingers Grundvoraussetzungen liegen in einer konsequenten Weiterführung des Kantischen Gedankens, daß „der Verstand der Natur die Gesetze vorschreibt". Nach V. wird alle „Erfahrung" überhaupt erst durch die „Fiktionen" ermöglicht, die wir bilden. Alle „Begriffe", „Gesetze" usw. sind solche Fiktionen. Unter Hypothesen versteht V. im Gegensatz dazu nachprüfbare Vermutungen, das weitaus meiste jedoch, was bisher so bezeichnet würde, fällt nach ihm unter die „Fiktionen", insonderheit auch das Atom. Die wesentlichsten Bedenken von realistischer Seite dagegen liegen in der Frage, warum denn im gegebenen Falle gerade diese und keine anderen Fiktionen zweckmäßig sind und tatsächlich von uns gebildet werden.

tivsten, nicht weiter analysierbaren Daten der Sinne (bzw. der Psyche überhaupt). Nachdem er nun alle „Dinge", also auch alles das, was wir als „Tatsachen" zu bezeichnen pflegen, in „konstante Beziehungen" zwischen gewissen Komplexen dieser Elemente auflöst, bleibt ihm für die Hypothesen schlechterdings gar nichts Neues mehr übrig. Sie sind nichts anderes, als was auch die Dinge sind, „Gedankensymbole für Empfindungskomplexe von relativer Stabilität". Wer sie den „Tatsachen" entgegenstellt, wie das der gesamte Positivismus immer wieder tut, gerade der macht sich des Rückfalls in den verpönten „ontologischen Realismus" schuldig, indem er den „Tatsachen" einen höheren Grad von Realität andichtet, als den des bloßen „Bildes" oder „Modelles". — Gerade vom Standpunkte des Positivismus aus ist die Kanonenkugel genau so „wirklich" oder „unwirklich" wie das Molekül, der Unterschied zwischen dem einen wie dem anderen „Gedankensymbol" ein bloß quantitativer. Und gerade vom Standpunkte des Positivismus aus muß man also konsequenter Weise der Physik die Frage, ob die Moleküle wirklich existieren, mit demselben Rechte und in demselben Sinne zugestehen, wie die Frage Leverriers, ob noch ein Planet jenseit des Uranus existiere, oder die Frage Mendelejeffs nach den Elementen, die die Lücken des periodischen Systems ausfüllen. — Da nun in praxi übrigens der Physiker zu erkenntnistheoretischen Reflexionen meist weder Zeit noch Lust hat, so stellt sich — außer etwa für die Vorwörter der physikalischen Lehrbücher, für Antrittsreden, Vorträge usw. — praktisch die Sache stets so, daß der allgemein in den physikalischen Darlegungen übliche „naive Realismus", wenn man ihn hier überhaupt zuläßt, dann mit vollem Recht auch auf die Molekularhypothese und alle physikalischen Hypothesen ausgedehnt wird. Die erkenntnistheoretische Kritik und Deutung mag man im übrigen hinzufügen oder weglassen, wie es gerade paßt, jedenfalls richtet — nach dem Dargelegten — der „naive Realismus" des Physikers in bezug auf die „Hypothesen" weder mehr noch weniger Schaden an als in bezug auf die sogenannten Tatsachen.

Man wird indessen einwenden, es sei aber doch rein unmöglich, daß eine solche Reihe so hervorragender Fachleute hier einfach einem glatten Irrtum zum Opfer gefallen seien, es müsse doch wohl noch ein Unterschied zwischen Hypothese und Tatsache konstatierbar sein, sonst würden doch ein Hertz und Mach, ein Ostwald und Drude nicht von einem solchen als einer Selbstverständlichkeit immer wieder gesprochen haben. In der Tat, das bezweifeln, hieße ja nur sich selbst lächerlich machen. Suchen

[illegible]

wir nun [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

werden wir [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] auch von denjenigen

Zum [illegible] [illegible] „[illegible]“ [illegible] „Modellmäßigen“ auch von demjenigen

Hypothesen [illegible] „[illegible]“ [illegible] Hypothese im Gegensatz zu jener Kritik

gefunden werden [illegible] [illegible] Erkenntniswert zuspricht. Ja,

durchaus einen [illegible] [illegible] Erkenntniswert [illegible]

wir können sagen, [illegible] Praxis alle überhaupt nur denkbaren Ab-

stufungen zwischen einer fast rein bildlichen und einer [illegible]

Auffassung — [illegible] Hypothese gibt. Als typisches Beispiel einer

bloßen „Bildes“ mag z. B. die bekannte Verdeutlichung der [illegible]

des magnetischen Feldes durch die Analogie mit einer Strömung [illegible]

sein. Man spricht von „Kraftfluß, von „Permeabilität“ [illegible]

„Senken“ und „Wirbeln“ des magnetischen [illegible]

keinem Physiker anders gemeint, denn als bloße Bilder [illegible]

liche und deshalb leicht verständliche [illegible]

alles beruhend lediglich auf einer rein formalen [illegible]

sozusagen zufällig besteht zwischen der [illegible]

Gesetze des magnetischen Feldes einerseits [illegible]

andererseits. Hier liegt also auch eine [illegible]

vor. — Wesentlich anders dagegen [illegible]

„elektrischen Strom“. Zunächst [illegible]

weitergehende, insofern sie den Energie[illegible]

leitung mit umfaßt, also ein wirkliche[illegible]

bei beiden vorliegt. Konnte [illegible]

noch daran festhalten, daß das [illegible]

so sieht die Sache jetzt anders [illegible]

theorie (S. 108) angenommen [illegible]

kleine „Korpuskeln“ sich [illegible]

Hier geht die Analogie [illegible]

Leichtes sein, eine fast [illegible]

lungen aufzustellen von [illegible]

aus realistisch gemeinten Hypothesen [illegible]

schiedenen wissenschaftlichen [illegible]

bilden, hat oft ganz die einzelne Hypothese [illegible] z. B. [illegible]

dem einen bis zum anderen Ende [illegible] was an Ort und Stelle [illegible]

theorie. Doch wozu vorwegnehmen, was an Ort und Stelle deutlich genug

hervortreten wird?

Zum andern aber darf nun nicht übersehen werden, daß wirklich ein Unterschied zwischen „Tatsache" und „Hypothese" sehr wohl angebbar ist, auch wenn man alles oben über den Gegensatz dieser beiden Begriffe Entwickelte anerkennt. Wir dürfen diesen Unterschied danach nur nicht in dem verschiedenen „Wirklichkeitsgrad" beider suchen, sondern wir müssen ihn da suchen, wo ihn der naive, noch von keines erkenntnistheoretischen Gedankens Blässe angekränkelte Verstand auch von jeher gesucht hat, in dem Zustande des erkennenden Subjekts dabei. Der Unterschied zwischen der Tatsache und der Hypothese ist der zwischen Gewißheit und Vermutung. Inhaltlich, d. h. mit Rücksicht auf den S i n n des Urteils, in bezug auf das O b j e k t , ist es vollkommen gleichgültig, ob ich sage, ich w e i ß , daß noch ein achter Planet existiert, oder ob ich das vorläufig, wie Leverrier, erst v e r m u t e. Was den einen Fall vom anderen unterscheidet, ist lediglich der Grad der Gewißheit (Evidenz) den für mich, das erkennende Subjekt, die Sache das eine oder das anderemal hat [18]. Der Fehler, den die in Rede stehenden Kritiker begangen haben, ist nun ganz allgemein der, daß sie aus diesem Unterschiede einen inhaltlichen Unterschied gemacht haben, daß sie meinten, das eine Urteil habe einen ganz anderen S i n n als das andere. Damit schoben sie die ganze Fragestellung der Physik betreffend der Hypothesen auf ein anderes Geleise; nun hieß es nicht mehr: die Hypothese ist richtig oder falsch (das einzige, was man angesichts einer „Vermutung" fragen kann), sondern sie ist ein mehr oder minder brauchbares Modell, und das Endziel der Physik wird dann ganz selbstredend die schließliche Ausscheidung alles dieses minderwertigen bildlichen Beiwerks, dieser „physikalischen Urteile zweiter Klasse". Daß man diese logisch nicht zu rechtfertigende Verschiebung des Sinnes der physikalischen Fragestellung beging, liegt natürlich in erster Linie an dem tatsächlichen Vorhandensein bildlichen Beiwerks fast bei allen Hypothesen. Es liegt aber in zweiter Linie auch daran, daß der Mensch ganz allgemein nur zu leicht geneigt ist, den gegenwärtig gerade vorhandenen Stand seines Wissens zu verwechseln mit der möglichen Wissenschaft überhaupt. Wie es auf der einen Seite immer wieder solche Forscher geben wird, denen ein eben errungener Erfolg der Wissenschaft die Augen so blendet, daß sie nun auch Schwierigkeiten mit einem leichten Sprunge überwinden zu können glauben, an denen in Wirklichkeit noch die Jahrhunderte zu arbeiten haben werden, so wird es andererseits auch niemals an solchen fehlen, denen mit der Einsicht in ein gegenwärtig notwendiges Sichbeschei-

den hinsichtlich irgendeiner Frage diese gleich für alle Zeiten erledigt zu sein scheint, kurz, in deren Geiste das notwendige „ignoramus" sich in das damit keineswegs ohne weiteres gegebene „ignorabimus" verwandelt.

Zu alledem kommt noch ein dritter, vielleicht der hauptsächlichste Grund. Das ist der Gedanke an das nicht wegzuleugnende Mißlingen so mancher mit den kühnsten Erwartungen in die Welt gesetzten Hypothesen. Von unserem Standpunkte aus ist daran natürlich nichts Verwunderliches. Denn was ist natürlicher, als daß Vermutungen sich als falsch oder doch als nur halb richtig erweisen? Allein die Enttäuschung ist aus naheliegenden Gründen proportional der vorher gehegten Erwartung, und hieraus folgt — more geometrico —, daß auch der Skeptizismus einer kritischen Periode um so größer sein wird, je unvorsichtiger man vorher in einer dogmatischen Periode, wie z. B. der der 1860er Jahre, mit den Hypothesen als schon feststehenden Ergebnissen gearbeitet hatte. Bedenkt man dazu, wie abstoßend es auf einen jeden nüchternen und klar blickenden Forscher wirken mußte, wenn in populären Darstellungen „naturwissenschaftlicher Weltanschauung" mit Atomen und Molekülen, mit Äther und elektrischen Fluida usw. usw. nur so umhergeworfen wurde, als ob es sich dabei um die sonnenklarsten Dinge von der Welt handelte, wo es doch in Wahrheit sich stets um ein höchst verwickeltes Gewebe aus sicher gestellten Tatsachen, einigermaßen wahrscheinlichen Schlüssen, tastenden Vermutungen, verschwommenen Bildern handelt, dem der Forscher selbst noch mit der, ich möchte fast sagen weihevollen Erwartung des Entdeckers im unbekannten Lande gegenübersteht, — bedenkt man das alles, so wird man es leichter begreifen, wie aus dem Lager der Wissenschaft selbst sich die abwehrenden Hände erhoben haben gegen ein solches täppisches Drauflosfahren, und wird es auch begreifen, daß man in dem Wunsche, solchem Mißbrauch einen Riegel vorzuschieben, das Mittel in einer Radikaloperation suchte, die doch vielleicht noch nicht so ohne weiteres nötig war. Wenn man sich gezwungen sieht, immer wieder jenen vorlauten Ausmünzern der Wissenschaft vorzuhalten, wie so manche glänzende Hypothese, die ihrer Zeit als neue Offenbarung erschien, heute vergessen und verschollen ist, und wie dieses Schicksal, das z. B. in der Biologie auch heute noch recht häufig ist, auch heute deshalb immer wieder zur Vorsicht mahnt, so ist es verständlich, daß man am liebsten zu einer Auffassung der Hypothesen griff, die sie diesem ewigen Hin und Her zwischen Geltung und Verwerfung überhaupt entzog und sie lieber auf den neutralen Boden eines „mehr

oder minder brauchbaren" Modells stellte. Damit verzichtete man allerdings einerseits auf das, was den meisten früher doch als das eigentliche Ziel aller Hypothesenbildung erschienen war: „zu erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält", aber man gewann auch auf der anderen Seite — scheinbar — dafür jeder Hypothese ein Bürgerrecht in der Wissenschaft, wenn sie nur einen denkökonomischen oder heuristischen Wert besitzt.

Mit dem Angeführten glaube ich die Hauptgründe, die zu der „Hypotheseophobie" geführt haben, genügend dargelegt zu haben. Es bleibt uns noch übrig, die Auffassung, die wir der hier gekennzeichneten entgegenzustellen haben, und die im allgemeinen auch in neuester Zeit mehr und mehr an Boden zu gewinnen scheint, nunmehr positiv noch etwas näher zu begründen. Ich behaupte also, daß trotz allem, was von der Kritik gesagt worden ist, doch den Hypothesen der Physik, wie der Naturwissenschaft überhaupt, ein realer Erkenntniswert innewohnt, den es freilich aus dem meist vorhandenen bildlichen Beiwerk herauszuschälen gilt. Dieser ureigentliche Erkenntniswert der Hypothese, neben allem denkökonomischen und heuristischen Wert, den zu bestreiten natürlich keinerlei Grund vorliegt, worin besteht er? Wir könnten uns an die Molekularhypothese auch hier halten, ich will aber, einerseits um auch einen Beleg aus einem anderen Gebiet der Physik zu geben, andererseits um ein möglichst einfaches und durchsichtiges Beispiel zu haben, hier denjenigen Tatsachenkomplex heranziehen, der neben der Molekulartheorie von jeher auch seitens der Kritiker verwertet worden ist, das ist die Lehre Newtons von der allgemeinen Gravitation.

Bevor die Bild- und Modelltheorie zur Herrschaft kam, pflegte man als die Quintessenz des historischen Fortganges der Erkenntnis etwa folgendes hinzustellen: Kepler hatte die berühmten drei Gesetze der Planetenbewegung gefunden:

1. Die Planeten bewegen sich um die Sonne in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

2. Der von der Sonne nach dem Planeten gezogene Strahl überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume (Sektoren). „Flächensatz."

3. Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich (angenähert) wie die Kuben der großen Achsen ihrer Bahnellipsen.

Für diese Eigenschaften der Planetenbahnen suchte nun, so sagte man, Newton eine Erklärung. Er fand sie in der Annahme einer von der Sonne

auf den Planeten ausgeübten Anziehungskraft, die er Gravitation nannte, und in der er dieselbe Kraft wiedererkannte, die auch auf der Erde den fallenden Stein in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte hin treibt. Diese Anziehungskraft ist nach Newton dem Produkt der Massen von Sonne und Planet gerade und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional.

Gegen diese Auffassung wendet nun die neuere kritische Betrachtungsweise ein, daß es sich hierbei doch in Wahrheit um weiter nichts als um eine vereinfachte denkökonomische Beschreibung handele, und daß man von einer „Erklärung" hier nur insofern sprechen könnte, als die Menschen nun einmal eine Sache dann für klarer hielten, wenn sie sich ihnen unter dem Bilde alltäglicher, gewohnter Vorgänge darstelle. Die „Anziehungskraft" Newtons sei nur deshalb scheinbar eine Erklärung, weil uns der Begriff der „Kraft" von unserer eigenen Muskeltätigkeit her geläufig sei. Für den modernen Physiker sei indessen diese „Kraft" nichts als eine historisch einmal so gewordene Bezeichnung für eine gewisse mechanische Größe, nämlich das Produkt aus der Masse eines Körpers und der Beschleunigung, die er erfährt. Alles andere sei Anthropomorphismus oder, mit Tylors Worten, ein „Rest von Fetischismus". Was habe Newton nun in Wahrheit geleistet? Er habe die Bahngleichungen der Planeten zweimal nach der Zeit differentiiert. Dabei habe sich ein Gleichungssystem ergeben, welches ausspricht, daß die relative Beschleunigung zwischen Sonne und Planet in der Richtung der Verbindungslinie liegt und dem Quadrat dieser Strecke umgekehrt proportional sich ändert. Das Produkt aus dieser Zentralbeschleunigung des Planeten und seiner Masse erhalte den Namen Anziehungskraft. Das Ganze sei lediglich eine mathematische Umformung, deren sehr erheblicher Vorteil allerdings nun darin bestehe, daß alles auf einen äußerst einfachen und noch dazu — wegen des Kraft-Anthropomorphismus — recht anschaulichen Ausdruck gebracht sei. (Man vgl. hierzu z. B. Drudes Leipziger Antrittsvorlesung über „die Theorie in der Physik"). Was wollen wir nun hierzu sagen?

Zuzugeben ist zunächst der Kritik zweierlei. Erstens dies, daß in der populären Auffassung des Kraftbegriffes, wie sie mehr oder weniger auch meist den Darstellungen in den Lehrbüchern der elementaren Physik zugrunde liegt, ein gut Stück Anthropomorphismus steckt. Das gehört zu dem Bildlichen, das wir ohne Bedenken vor der strengen kritischen Betrachtung preisgeben. Zweitens dies, daß es in der Tat nichts als eine

mathematische Umformung, also eine nur denkökonomische Tat bedeutet, wenn man statt der drei Keplerschen Gesetze das eine Gesetz aufstellt: Jeder Planet erfährt in jedem Augenblick eine gegen die Sonne gerichtete Beschleunigung, die dem Quadrat seiner Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional ist. Denn, wie Newton gezeigt hat, ist dies Gesetz inhaltlich vollkommen jenen drei Gesetzen[17] äquivalent. Es folgt aus ihnen, wie umgekehrt sie aus ihm. Wäre das alles, so wäre die Kritik vollständig im Recht und die Sache damit für den Physiker erledigt. Aber es ist eben nicht alles, vielmehr kommt nun erst gerade das, was die eigentliche Hypothese Newtons ausmacht, und was der eigentliche Gegenstand des physikalischen Interesses ist, nämlich die — einstweilen nur vermutungsweise bestehende — Erkenntnis, daß die fragliche Zentralbeschleunigung nun nicht nur zwischen Sonne und Planet, sondern überhaupt zwischen je zwei Weltkörpern, ja zwei beliebigen Körpern aller Art besteht. Mit dieser Vermutung erst wird die in Rede stehende Größe m(x'', y'') aus einer bloß mathematischen Hilfsgröße eine reale, neue Bedeutung besitzende physikalische Größe und wird also ein ganz neues, inhaltlich den Rahmen der Keplerschen Gesetze weit überschreitendes Problem aufgeworfen, nämlich das Problem, ob nun diese Vermutung Newtons wirklich zutrifft, d. h., ob die fragliche Beschleunigung wirklich immer und überall vorhanden ist, bzw. inwieweit sie zutrifft, d. h. welche Gruppen von Körpern etwa diese Erscheinung zeigen, welche nicht und unter welchen Bedingungen das geschieht. Nicht ein Bild oder Modell nur von der Planetenbewegung hat Newton konstruiert, sondern eine neue Tatsachenfrage hat er aufgeworfen; dies ist die Hauptsache, und alle Denkökonomie hinsichtlich der Planetenbewegung und aller heuristische Wert sind nur die Fransen um das Kleid. Was diesen letzteren betrifft, so ist es ja ohne weiteres klar, daß jede derartige Vermutung eines allgemeineren Tatbestandes eine unerschöpfliche Fundgrube für die Auffindung neuer Tatsachen darstellt, die sich als Spezialfälle ebenso darunter einordnen, wie es die den Ausgangspunkt der Vermutung bildende Tatsachengruppe, in unserem Falle die Planetenbewegungen, tun — vorausgesetzt nämlich, daß die Vermutung richtig ist. So hat alsbald nach der Auffindung seines Gravitationsgesetzes Newton daraus den Schluß gezogen, daß die Planeten sich auch untereinander dementsprechende Beschleunigungen erteilen müssen,

also die sogenannten „Störungen“ der Planetenbahnen vorausgesagt. Ferner hat er gezeigt, daß auch die Erscheinung der Ebbe und Flut nichts anderes als die Gravitationswirkung des Mondes und der Sonne auf den flüssigen Teil des Erdkörpers vorstellt. Den direkten Beweis aber dafür, daß wirklich die Gravitation eine ganz allgemein bestehende Tatsache ist, haben erst lange nach Newton die Versuche von Cavendish, Jolly, Richarz u. a. erbracht, durch die zugleich die absolute Größe der Gravitation festgestellt wurde [16]. Nach diesen Versuchen geht es nicht mehr an, die allgemeine Gravitation als eine Hypothese zu bezeichnen, sie ist vielmehr eine Tatsache in demselben Sinne, wie jede andere physikalische „experimentelle Tatsache“ auch. Wer sich etwa darauf berufen wollte, daß doch die genannten Autoren nur mit einzelnen ganz bestimmten Stoffen, vor allem mit Bleiklötzen, gearbeitet hätten, und daß deshalb von einem Nachweis des allgemeinen Bestehens der Gravitation nicht die Rede sein könne, der kann mit demselben Argument auch jede beliebige andere Tatsache in das Reich der Hypothesen verweisen, wie z. B. die, daß bei allen chemischen Reaktionen die Masse konstant bleibt usw. Wenn auch Lavoisier und Stas das für hunderte von Reaktionen nachgewiesen haben, so bedeuten doch diese Einzelfälle gegenüber der unendlichen Mannigfaltigkeit aller denkbaren Reaktionen genau so viel und wenig, wie Cavendishs und Jollys Bleiklötze gegenüber der unzählbaren Menge aller Körper. Ziehen wir das Gesamtresultat:

Unter einer physikalischen Hypothese verstehen wir die Vermutung eines bis dahin nicht experimentell beobachteten allgemeinen Tatbestandes, der bereits bekannte und noch zu entdeckende einzelne Tatsachen als Spezialfälle unter sich befaßt, diese also mathematisch-logisch aus sich zu deduzieren gestattet. Die Vermutung kann den vorausgesetzten Tatbestand bildlich einkleiden oder nicht, das Bildliche ist die Nebensache, die Hauptsache ist die Auffindung einer allgemeineren Tatsache. In der Regel wird die Vermutung auf Grund eines Analogieschlusses erfolgen, d. h. man wird etwas, was bisher nur am einzelnen Fall als bestehend erkannt war, auf viele andere oder auf alle Fälle vermutungsweise verallgemeinern. Oft wird auch die Konstruktion eines auf eine bestimmte Tatsachengruppe passenden Modells das erste sein, und erst allmählich wird man lernen, aus diesem Modell den zugrunde liegenden allgemeineren Tatbestand heraus-

zuschälen (s. u. Lichttheorie). In jedem Falle aber bleibt die Hauptfrage, welche die Wissenschaft zu stellen hat, die, ob die ausgesprochene Vermutung richtig ist, bzw. was der hinter der bildlichen Einkleidung steckende allgemeine Tatbestand ist. Daß eine in diesem Sinne richtige Hypothese auch den größten denkökonomischen und heuristischen Wert hat, ist selbstverständlich. Ihr eigentlicher Erkenntniswert besteht aber nicht darin, sondern ganz direkt in dem, was sie als allgemeine Tatsache ausspricht (Gravitation, Moleküle, Lichtwellen usw.).

Von hier aus können wir nun auch zu einer klaren Entscheidung in der alten Streitfrage kommen, ob ein Unterschied bzw. was für ein Unterschied besteht zwischen Beschreibung und Erklärung. Es liegt in der Konsequenz der oben geschilderten kritischen Auffassung der Hypothesen, einen solchen Unterschied zu leugnen, also in allem sogenannten Erklären auch nichts anderes als eine vielleicht vereinfachte, der Denkökonomie mehr entsprechende Beschreibung der Naturvorgänge zu sehen (vgl. das oben zitierte Wort Kirchhoffs). Denn als eine wirkliche Erklärung, so sagt man, wird man es doch nicht gelten lassen können, wenn man sich etwa eine fremdartige Tatsachengruppe durch ein Modell, ein aus bekannten und bereits vertrauten Vorstellungen konstruiertes Bild vergegenwärtigt (wie etwa den Magnetismus durch das Bild der Strömung). Wir meinen nur, daß eine Sache uns klarer sei, wenn wir an ihr eine Reihe von Zügen finden, die uns an längst bekannten und daher unsere Verwunderung nicht mehr erweckenden Tatsachen geläufig sind. Geben wir dies letztere zu, so folgt daraus trotz allem noch keineswegs, daß nicht doch ein tiefgreifender Unterschied zwischen bloßer Beschreibung und Erklärung der Naturerscheinungen bestehen kann. Dieser Unterschied muß nach dem Gesagten darin gesucht werden, daß die „Erklärung" die logische Unterordnung des Besonderen unter ein Allgemeineres, z. B. der Verhältnisse bei den Planetenbewegungen unter das Gravitationsgesetz enthält, während die „Beschreibung" die einfache Konstatierung der Tatsachen ist, so wie sie sich darbieten. Damit ist „Erklären" allerdings zu einem relativen Begriffe geworden, denn jeder derartige allgemeine Tatbestand (wie z. B. die Gravitation oder die körnige Struktur der Materie) ist ja nun wieder das Objekt eines „Beschreibungs"-urteils. Jede Erklärung gibt also von selbst, wenn sie wirklich eine Erklärung, nicht ein bloßes Bild sein soll, eine neue umfassendere Beschrei-

bung — das behaupten wir ja gerade im Gegensatz zu denen, die den Hypothesen den realen Erkenntniswert absprechen —, aber das hebt nun doch das logische Unterordnungsverhältnis nicht auf, das zwischen der Formulierung dieses allgemeinen Tatbestandes in einem „Grundgesetz" und der besonderen darunter fallenden Tatsachengruppen als Schlüssen oder Folgerungen besteht. Logisch erscheinen die Gesetze der Planetenbewegungen als Folgerungen, Deduktionen aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz, nicht umgekehrt, obwohl anscheinend — für diesen besonderen Fall — das eine dem anderen völlig äquivalent ist. Das logische Subordinationsverhältnis kommt aber eben daher, daß das Gravitationsgesetz ein ganz allgemeingültiges Gesetz darstellt. Niemand wird einen Schluß zu ziehen wagen derart: „Wenn die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung zutreffen, dann müssen sich alle Körper nach dem Newtonschen Gesetz gegenseitig beschleunigen." Wohl aber umgekehrt: „Wenn das Newtonsche Gesetz gilt, dann müssen sich — unter anderem — auch die Planeten danach verhalten, und das ergibt die Keplerschen Gesetze." Man kann demnach auch sagen: Erklären heißt Einordnen der uns entgegentretenden, zunächst nur einfach festgestellten Tatsachen in allgemeinere Zusammenhänge. Zu welcher Folgerung diese Auffassung weiterführt, wollen wir unten sehen. Hier mag jedoch schon betont werden, daß jede Erklärung ihrerseits wieder eine neue Erklärung, d. h. ein Aufsuchen noch weiterer umfassenderer Zusammenhänge herausfordert, da sie ja selbst wieder eine Beschreibung eines einfachen Tatbestandes enthält. Das ist besonders deutlich an dem Beispiel der Gravitation zu erkennen, wo es auch Newton selbst schon ganz klar herausgefühlt hat. Er selbst sagt, nachdem er von der allgemeinen Gravitation gesprochen hat:

Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phänomenis nondum potui deducere et hypotheses non fingo . . . (folgt die bekannte Auslassung darüber, daß hypotheses, seu metaphysicae, seu physicae . . . in philosophia experimentali [d. i. in der Physik] locum non habent).

Wir wollen hier nicht untersuchen, was Newton dabei eigentlich unter den von ihm verpönten hypotheses verstanden hat. Ich glaube jedenfalls nicht das, was die positivistischen Kritiker, die diese Worte so gern besonders im Kampfe gegen die atomistischen und Molekularhypothesen zitiert haben, dabei meinen. Denn es bliebe dann unbegreiflich, was Newton wohl mit dem ersten Worte des obigen Zitats — der ratio — gemeint haben

könnte. Einen Grund sucht er hier für die von ihm festgestellten Eigentümlichkeiten der allgemeinen Gravitation. Soll das etwa heißen, seine „Beschreibung" der Planetenbewegung sei ihm noch nicht einfach, „denkökonomisch" genug gewesen? Gibt es etwas Einfacheres als das Gesetz Newtons? Ich glaube vielmehr, es ist ihm mit der Gravitation gegangen, wie es noch heute einem jeden Physiker damit geht, er mag sich das klar machen oder nicht. Auch Newton hatte das Gefühl dafür, daß es eine Antwort geben müsse auf Fragen wie diese: Warum steht im Nenner rechts gerade r^2, nicht r^3 oder r oder sonst eine Funktion von r? Wie ist es möglich, daß eine solche Wechselbeziehung zwischen zwei Körpern scheinbar unvermittelt durch den Raum hindurch besteht usw.? Für alles das muß es rationes geben, das heißt, es muß möglich sein, aus einem noch allgemeineren, umfassenderen Tatbestand heraus den hier vorliegenden als notwendigen Sonderfall zu deduzieren. Wir werden unten sehen, inwiefern das heute als gelungen betrachtet werden kann. Daß Newton an sich gegen solche Versuche nichts haben konnte, beweist doch wohl am besten seine Emissionstheorie des Lichtes, die er doch wohl auch als ratio harum lucis proprietatum erdacht hat[19].

Doch mag Newton hier gedacht haben, was immer er wolle. Bei allem schuldigen Respekt vor seinem Genie kann uns seine Ansicht hier oder an anderen Stellen keine bindende Autorität sein, zumal wenn wir bedenken, daß er am Anfang einer fast 300jährigen Entwicklung der Physik steht, die wir heute in der glücklichen Lage sind, von rückwärts überschauen zu können. Nehmen wir ihm doch auch seine Zirkeldefinition der Masse, die in dem gleichen Werk steht[20], nicht weiter übel. So kann es für uns auch, um auch das noch zu erwähnen, nicht absolut maßgeblich sein, wenn Newton den ebenfalls so viel zitierten Ausspruch tat: Daß die Planeten sich so verhalten, als ob sie sich anzögen, sehe ich. Ob sie sich wirklich anziehen, weiß ich nicht. Wie aber eine solche Anziehung zustande kommt, darüber fehlt mir jede Vorstellung. — Man hat diesen Ausspruch sehr oft angeführt, wenn es galt zu beweisen, daß die „Anziehungskraft" eine erdachte „Ursache" für die Planetenbewegung sei, mit der wir den Boden der Tatsachen schon verließen. Die Wahrheit ist aber, daß zwischen den ersten beiden Sätzen des Newtonschen Ausspruches gar kein Unterschied besteht, außer dem, daß das „Wirklich sich anziehen" des zweiten Satzes die Allgemeinheit der Gravitation bedeuten könnte. Im übrigen ist nämlich der Fall, daß die Körper sich so verhalten, als ob sie sich an-

zögen, völlig identisch mit dem, daß sie sich „wirklich" anziehen. Man sage doch bitte, was denn unter letzterem eigentlich verstanden sein soll, d. h. man versuche den Begriff: Wirkliche Anziehung mit irgendeinem positiven Inhalt zu erfüllen. Man wird nichts anderes nennen können, als die tatsächlich konstatierbare gegenseitige Beschleunigung, die sich bei freier Beweglichkeit in der Form der Bahn, bei Hinderung aber in den Spannungen oder Drucken der Hindernisse äußert. Das ist aber ganz dasselbe, wie das „Sich verhalten, als ob sich die Körper anzögen". Der letzte Grund dafür, daß so viele — offenbar auch Newton — doch hinter einer „wirklichen Anziehung" noch mehr suchen, ist der mit dem Kraftbegriff verbundene, instinktiv hinzugedachte Anthropomorphismus. Schaltet man diesen bewußtermaßen ganz aus, so bleibt tatsächlich nichts, was den ersten Satz vom zweiten unterschiede, angebbar, es sei denn eben die Allgemeinheit der Gravitation im Gegensatz zu dem Spezialfall der Planetenbewegung. Ursache der Planetenbewegung heißt die Gravitation also deshalb, weil sie das Objekt des allgemeineren Gesetzes ist, dessen spezielle Folgerung die Gesetze der Planetenbewegung sind.

Wir sind damit zu einer erkenntnistheoretischen Frage gelangt, die ebenfalls die Naturforscher in neuerer Zeit wieder aufs lebhafteste beschäftigt hat, der Frage nach dem Inhalt und Recht des sogenannten

Kausalitätsprinzips.

Da wir hier auf dem beschränkten Raume unmöglich alle die zahlreichen Strömungen der heutigen Philosophie, die bei diesem Problem in Frage kommen, behandeln können[21], so wird es gut sein, wiederum an die Machsche, den Naturforschern heute geläufigste Auffassung anzuknüpfen. Sie ist in neuester Zeit besonders lebhaft von dem Bonner Physiologen Verworn vertreten worden. Beide, Mach wie Verworn, die sich auch in ihren sonstigen Anschauungen durchaus nahestehen, wollen den Kausalbegriff überhaupt aus der Wissenschaft entfernen und ihn durch den reinen Funktionsbegriff ersetzen. Das einzige, was uns die Erfahrung lehrt, ist ja nach ihnen (siehe oben), daß gewisse „Elemente" in gewissen Beziehungen stehen, die sich durch Funktionsgleichungen $F(a, b, c \ldots) = 0$ ausdrücken lassen. Ist dies geschehen, so ist das Ziel der Wissenschaft erreicht. Ob dabei unter dem

Veränderlichen auch die Zeit t vorkommt, ist gleichgültig. Nach Verworn nennen wir nun die sämtlichen so mit einem bestimmten Ereignis oder Zustand verknüpften anderen Ereignisse oder Zustände die „Bedingungen“ desselben, es hat keine Berechtigung und führt nur zu schiefen Fragestellungen, wenn man eine einzelne dieser Bedingungen als „Ursache“ vor der anderen auszeichnet. Nach Mach wenden wir den Ursache-Wirkungsbegriff nur da an, wo uns eine solche Beziehung noch auffällt, wir gebrauchen ihn dagegen nicht mehr, wenn wir uns an dieselbe gewöhnt haben. Zunächst nennen wir die Wärme die Ursache des Druckes im Dampfkessel, später „stellen wir uns den Dampf gleich mit der zu seiner Temperatur gehörigen Spannkraft vor“. Zuerst heißt die Säure Ursache der Rötung des Lackmus, später gehört diese einfach zu den Eigenschaften der Säure (Mach, Mechanik, 4. Aufl., S. 513).

Diese Anschauung läßt nun aber zweierlei ganz unerklärt: Einmal das Gefühl der Notwendigkeit, das ein jeder bei Anwendung des Kausalbegriffs empfindet, zum anderen aber den Richtungssinn, den das Kausalverhältnis besitzt, mit anderen Worten die Nichtvertauschbarkeit von Ursache und Wirkung. Es muß doch erklärt werden, warum man etwa in jenem Beispiel Machs stets die Wärme als Ursache des Drucks, aber niemals umgekehrt bezeichnet, und außerdem muß es doch aufgehellt werden, wie es kommt, daß der Menschengeist eben nicht mit der bloßen Konstatierung des Gleichzeitigseins von Wärme und Druck zufrieden ist, sondern an einen „inneren“ Zusammenhang beider glaubt, derart, daß die Wärme den Druck im Gefolge haben muß. Es geht doch nicht an, dies letztere so einfach als auf Anthropomorphismen (Wille, Muskelkraft) beruhende menschliche Zutaten beiseite zu schieben, die sobald als möglich aus der strengen Wissenschaft entfernt werden müßten, wenn sie auch für den täglichen Gebrauch nach wie vor zulässig wären. Dafür ist doch dieses Notwendigkeitsgefühl, diese Überzeugung von einem objektiv bestehenden Zusammenhang der fraglichen Dinge auch bei dem völlig ausgereiften Forscher viel zu stark, als daß man nicht zuerst einmal untersuchen müßte, ob dem nicht doch ein durchaus realer Sachverhalt oder etwa auch ein Konstruktionsprinzip unserer Denkmaschine selbst, eine Kategorie, wie Kant sagt, zugrunde liegt.

In der klassischen Periode der Philosophie drehte sich der Streit bekanntlich hauptsächlich um die Frage, ob „Kausalität“ lediglich ein anderer Name für die oft wiederholte Erfahrung des Aufeinanderfolgens zweier Er-

eignisse oder ob sie ein innerer Zusammenhang sei, der seinerseits entweder den Dingen an sich zukommt und von uns nur als solcher erkannt wird, oder aber von uns selbst in die Dinge sozusagen hineingedacht wird. Sowohl die erste von Hume vertretene empiristische Richtung, wie die beiden anderen von Locke bzw. Kant vertretenen, setzen mit dem Kausalverhältnis also zugleich eine z e i t l i c h e F o l g e , nur mit dem Unterschiede, daß Hume dasselbe hiermit letzten Endes identifiziert, während die anderen beiden meinen, daß die bloße Zeitfolge allein noch nicht genügt, um ein Kausalverhältnis zu begründen. Das bekannte Beispiel, daß niemand die Nacht als Wirkung des Tages bzw. umgekehrt auffasse, obwohl doch hier eine regelmäßige zeitliche Aufeinanderfolge vorliegt, wird auch heute noch vielfach zu gleichem Zwecke angeführt. Es wird nützlich sein, zunächst diese Frage nach dem V e r h ä l t n i s v o n Z e i t f o l g e u n d K a u s a l i t ä t zu erörtern. Wenn ein solches Verhältnis zwischen beiden wesentlich bestände, so wäre damit der R i c h t u n g s s i n n des Kausalverhältnisses unmittelbar aufgeklärt; er wäre dann einfach gleich dem Sinne jener Zeitfolge. Allein e s b e s t e h e n d o c h g e g e n d a s H i n e i n z i e h e n d e r Z e i t v o r s t e l l u n g i n d e n K a u s a l b e g r i f f s c h w e r w i e g e n d e B e d e n k e n. Wenn wir beispielsweise die Schwerkraft die Ursache der Planetenbewegung oder auch die Ursache des Druckes nennen, den das Tintenfaß hier auf den Tisch ausübt, oder wenn wir den elektrischen Strom die Ursache des Magnetfeldes oder der Wärmewirkung im Draht nennen, so besteht zwischen Ursache und Wirkung ganz offensichtlich keine Zeitfolge, sondern Gleichzeitigkeit. Kant und im Anschluß an ihn auch neuere Kantianer (so N a t o r p), unterscheiden deshalb von der Kausalität im engeren Sinne die W e c h s e l w i r k u n g. Andere haben dagegen vielfach versucht, auch in diesen Beispielen eine zeitliche Folge aufzuweisen. So versucht z. B. E. B e c h e r das Beispiel von dem elektrischen Strom und der Wärmewirkung doch in zeitlichem Sinne zu deuten, indem er darauf hinweist, daß erstens die Wärmewirkung den Strom überdaure (der Draht bleibt auch noch nach Stromunterbrechung heiß) und daß zweitens ja auch vom Standpunkt der neueren Theorie aus die den Strom konstituierenden Elektronenbewegungen zeitlich den durch sie veranlaßten Molekularbewegungen (d. i. der Wärme) in jedem einzelnen Fall vorausgingen. Abgesehen aber davon, daß man doch auf einer früheren Stufe hiervon nichts wußte und gleichwohl den Kausalbegriff (Strom → Wärme) anwandte, dürfte es doch

auch schwer sein, z. B. bei dem ganz analogen Falle des Magnetfeldes eine entsprechende Betrachtung durchzuführen, ebenso auch bei dem Falle Gravitation → Druck und dergleichen. Gegenüber einer solchen doch offenbar ad hoc hinzugefügten Herausstellung eines zeitlichen Verhältnisses scheint mir dann doch die Machsche Lösung noch einfacher und näherliegend, daß eben für eine tiefer eindringende Betrachtung Magnetfeld und Wärmewirkung zum Begriff „Strom" einfach mit dazugehören. Andererseits steht es ja freilich nun auch fest, daß in zahllosen Fällen das Kausalverhältnis mit einer Zeitfolge zusammenfällt, so z. B. wenn der Flintenschuß als Ursache des Todes, die Sonnenwärme als Ursache des Treibens der Blüten und Früchte usw. bezeichnet wird. In allen solchen Fällen liegt zweifellos die Zeitstrecke oder der Zeitmoment, in denen sich die Ursache A abspielt, entweder ganz getrennt v o r der Zeitstrecke der Wirkung B oder, wenn sie sich zum Teil decken, so liegt wenigstens der Anfang vor A vor dem von B, das Ende von B hinter dem von A. — Es wird also nach einer Auffassung des Kausalverhältnisses zu suchen sein, die beides erklärt, einmal das Vorkommen auch zeitloser Kausalität, zum anderen die Häufigkeit des Zusammenseins von Zeitfolge und Kausalfolge.

Einen grundsätzlichen Unterschied zwischen zeitlicher Kausalität und zeitloser Wechselwirkung zu machen, hat dagegen wenig Zweck, weil offenbar in beiden Fällen der Richtungssinn ebensowohl wie jenes charakteristische Bewußtsein einer Notwendigkeit zu finden sind. Es scheint mir vielmehr gerade hierdurch bewiesen zu werden, daß d i e Z e i t z w a r s e h r h ä u f i g z u m G e g e n s t a n d d e s K a u s a l z u s a m m e n h a n g e s, n i c h t j e d o c h n o t w e n d i g z u s e i n e m W e s e n g e h ö r t. In dieser Hinsicht scheint mir der Machsche Standpunkt also berechtigt, für den es, wie schon oben gesagt, keinen Unterschied macht, ob in jenen Funktionsgleichungen t vorkommt oder nicht, und ich möchte daher der auch von E. B e c h e r vertretenen Auffassung der Kausalität als „regelmäßiger unmittelbarer Sukzession", die im wesentlichen die Kantsche ist, nicht beipflichten. Der Grund für die so überaus naheliegende Beziehung des Kausalverhältnisses auf eine Zeitfolge dürfte vielmehr lediglich darin zu suchen sein, daß weitaus die meisten Naturgesetze die Form von Gleichungen haben, in denen die zeitlichen Änderungen gewisser Veränderlichen mit den Momentanwerten derselben verknüpft sind (s. auch S. 266). Dies ist aber nicht das wesentliche. Denkbar sind ebensogut Gesetze, welche gleichzeitige Werte miteinander verknüpfen, wie auch solche,

welche gleich über eine endliche Zeitstrecke hinweg verknüpfen (Integralgesetze). Die alte Streitfrage, welche von den Eleaten bis zur neuesten Zeit (vgl. Becher) diese Diskussion erschwert hat, wie überhaupt eine Veränderung stattfinden soll, wenn die Wirkung gleichzeitig mit der Ursache eintritt, oder was anderenfalls unter „unmittelbarer" Folge zu verstehen sei, entfällt dann. Es ist für die Kausalität ganz gleichgültig, ob überhaupt eine Zeit und eventuell eine wie lange Zeit zwischen A und B liegt. Das Gegenargument, wir würden eine endliche Zeitstrecke doch wieder durch Zwischenzustände als „Überträger" der Wirkung ausfüllen, so daß doch streng nur jeder Augenblick durch den vorhergehenden kausal bestimmt sei, wird widerlegt durch den Hinweis auf die ganz gleichartige Lage der Dinge hinsichtlich des Raumes. So gut wie man an räumliche „Fernwirkung" einmal geglaubt hat, hätte man auch an zeitliche „Fernwirkung" denken können. Stellt man sich jedoch auf den Standpunkt, daß beides letzten Endes unvorstellbar ist, also stets eine kontinuierliche Übertragung gefordert werden muß, dann beweist die Kontinuität der Zeit im Kausalverhältnis nicht mehr als die des Raumes, und der Umstand also, daß zeitliche Kausalität stets als differentiale Folge dt gedacht wird, kann eben deshalb nicht als Grund dafür gelten, daß Kausalität stets solche „unmittelbare Folge" sei, da man sonst mit demselben Recht für den Raum dasselbe behaupten, also Kausalität auch mit räumlichem „unmittelbarem Nebeneinander" (dx, dy, dz) identifizieren müßte[22].

Wir scheiden also den Zeitbegriff aus der Kausalität selbst ganz aus und behalten nur im Auge, daß, wie oben gesagt, praktisch die weitaus größte Mehrzahl aller kausalen Verknüpfungen die Zeit als Variable enthält, wodurch allerdings sehr häufig dann auch die „Wirkung" zur zeitlichen Folge der „Ursache" wird. Worin besteht denn nun aber das Wesen des Kausalverhältnisses und woher der Richtungssinn, wenn dieser nicht einfach der der Zeit ist? Um vor jenem Fehler des Hineinziehens der Zeitvorstellung sicher zu sein, wollen wir uns jetzt zunächst an zweifellos zeitlose Kausalitäten, wie z. B. Strom → Magnetfeld, Gravitation → Druck, Widerstand → Stromstärke (richtiger Widerstand ↘ / Spannung ↗ Stromstärke) usw. halten. Es muß nun zunächst darauf aufmerksam gemacht werden, daß bei allen einzelnen Kausalverhältnissen neben der Ursache A und der Wirkung B ein ganzer Komplex von Bedingungen vorliegt, den man passend mit dem Worte „Konfiguration" bezeichnen kann. Wärme ist nicht schlecht-

hin Ursache von Druck, wenigstens wird das zunächst nicht so gedacht, sondern „im Dampfkessel" ist sie es, d. h. unter Voraussetzung einer ganz bestimmten, aus zahllosen Einzelheiten bestehenden Verteilung von Stoffen. Nur in diesem System zunächst bezeichnen wir die Wärme als die Ursache, den Druck als die Wirkung. In einem anderen (z. B. im pneumatischen Feuerzeug) bezeichnen wir vielleicht umgekehrt den Druck als Ursache, die Wärme als Wirkung. Die Nichtbeachtung dieses Sachverhalts in zahlreichen Erörterungen über den Kausalbegriff macht diese Erörterungen von vornherein oft so unfruchtbar. Jedes Kausalverhältnis setzt also das Vorliegen einer gewissen Konfiguration voraus. Spricht man z. B. vom elektrischen Strom als Ursache eines Magnetfeldes, so denkt man dabei zunächst an eine gewisse Zusammenstellung von Leitern (galvanisches Element, Drähte usw.) und nur innerhalb dieser „Konfiguration" heißt zunächst der elektrische Strom die Ursache des Magnetfeldes. Ob elektrischer Strom immer und unter allen Umständen ein Magnetfeld bewirkt, ist damit noch keineswegs gesagt. Nun aber ist es wohl klar, warum in jedem solchen Fall A die Ursache und B die Wirkung heißt, aber nicht umgekehrt. A ist nämlich immer diejenige der beiden Erscheinungen (bzw. Größen), die in der Konfiguration als unmittelbar gegeben, als aus früheren Erfahrungen oder per definitionem darin schon enthalten gedacht wird, während B noch nicht unmittelbar damit gegeben ist, sondern nur in seinem Vorhandensein konstatiert wird. Als Oersted 1820 jene Zusammenstellung von Leitern usw. machte, wußte er bereits von Voltas Versuchen her, daß darin ein dauernder elektrischer Ausgleich, also ein sogenannter elektrischer Strom, vor sich geht. Von dem Magnetfeld wußte er aber noch nichts. Der erstere war also in der Konfiguration unmittelbar gegeben, das letztere wenigstens einstweilen noch nicht, sondern trat als neue Beobachtung dazu auf. Ganz ebenso im Falle des Dampfkessels. Daß bei einer solchen Zusammenstellung, wenn das Feuer entzündet wird, auch das Kesselinnere heiß wird, ist eine durch frühere Erfahrungen völlig feststehende, unmittelbar geläufige Tatsache, die immer eintritt, auch dann z. B., wenn der Kessel geöffnet oder undicht ist. Demgegenüber erscheint der Druck als eine hiermit keineswegs ohne weiteres gegebene, gänzlich andersartige Größe, die in jener Konfiguration zunächst keineswegs ohne weiteres

vorausgesetzt wird. Nicht also deshalb, weil das Anheizen des Kessels dem Ablesen des Manometers zeitlich vorhergeht, sondern deshalb, weil die Temperatursteigerung bei dem eingeschlagenen Verfahren als selbstverständlich, der Druck aber nicht als selbstverständlich angesehen wird, erscheint das Verhältnis beider mit dem Richtungssinn $t \rightarrow p$ behaftet. Diese Erklärung gilt auch dann noch, wenn, wie im Falle des Verhältnisses: Widerstand → Stromstärke tatsächlich die Ursache aus der Wirkung erst erschlossen wird[23]. Hier liegt die Sache folgendermaßen: Wir machen Versuche mit der gleichen Stromquelle und verschiedenen Drähten. Stellen wir nun fest, daß dabei verschiedene Stromstärken eintreten, so suchen wir die „Ursache" dieser Verschiedenheit in der Beschaffenheit der Drähte. Indem wir dies tun, legen wir dem Draht eine unmittelbar mit seiner Länge, Dicke und Substanz gegebene Eigenschaft bei, der gegenüber die Stromstärke erst sekundär erscheint. Der Draht besitzt einen bestimmten „Widerstand" an sich, auch ohne daß Strom durchgeht. Ob diese Vorstellung berechtigt ist, ob sie nur ein Anthropomorphismus oder eine auf Analogie mit mechanischen Vorgängen beruhende Übertragung ist, steht hier nicht zu erörtern. Es kommt nur darauf an, zu zeigen, was wir mit dem Satze: Der Widerstand ist die Ursache der verschiedenen Stromstärke eigentlich meinen. Noch klarer wird die Sache an dem Fall: Gravitation → Druck. Hier ist die Schwerkraft ebenfalls offenbar deshalb die Ursache, weil wir sie als vorhanden denken, auch wenn der Druck nicht zustande kommt, etwa deshalb, weil der betreffende Körper der Schwerkraft frei folgt oder weil er durch eine andere der Schwere entgegenwirkende Kraft im Gleichgewicht gehalten wird. Daß in vielen solchen Fällen das „primär" Gegebene auch zeitlich das frühere ist, ist fast selbstverständlich. Denn sehr häufig erfordert das Eintreten von A erst eine zeitliche mehr oder minder lange Vorbereitung (z. B. das Anheizen des Kessels), die aber schon von vornherein auf die Erreichung des Zustandes A hinzielt. Dies zeitliche Vorhergehen denkt man dann unwillkürlich auch zu diesem Zustande A (hier der Kesseltemperatur) hinzu, und so entsteht in unserem Falle der Anschein, daß die Wärme dem Druck „unmittelbar vorhergeht". In Wahrheit geht der gesamte zur Erzielung der Wärme im Kessel notwendige Vorgang vorher. Aber nicht dies zeitliche Vorhergehen ist das Wesentliche, sondern das unmittelbare Gegebensein der Wärme mit dieser ganzen Konfiguration im Gegensatz zu dem nicht unmittelbar damit gesetzten Druck. Dieselben psychologischen Faktoren,

welche bei der Bildung unserer Sprache veranlaßt haben, daß wir Wörter wie „primär“ und „sekundär“, „a priori“ und „a posteriori“, „vor“ und „nach“ von der zeitlichen auf die rein logische Ordnung übertragen, dürften auch zur Erklärung der Tatsache ausreichen, daß wir umgekehrt fast unwillkürlich dem Kausalverhältnis die zeitliche Folge unterschieben, obwohl diese in solchen Fällen wie den angeführten gar nicht vorliegt.

In der Machschen Darstellung wird dies Verhältnis deshalb nicht klar, weil die einfache mathematische „Funktionsbeziehung“ mit ihrer völligen Umkehrbarkeit an Stelle des einseitig gerichteten Kausalverhältnisses treten soll. Richtig an ihr dürfte jedoch teilweise das sein, was Mach in der oben angeführten Bemerkung andeutet, daß das Achten auf den neu ermittelten Zusammenhang eine wesentliche Rolle dabei spielt[24]. In der Tat kommt auch unsere Überlegung darauf hinaus, daß etwa in dem Beispiel Wärme — Druck dies „Kausalverhältnis“ überflüssig wird, sobald wir den Druck ebenfalls als unmittelbar durch die Konfiguration mitgegeben betrachten. Ebenso gebrauchen wir auf dem von Maxwell theoretisch errungenen und neuerdings durch Versuche von Röntgen, Eichenwald u. a. experimentell gesicherten Standpunkt kein „Kausalverhältnis“ mehr zwischen Strom und Magnetfeld, insofern für den modernen Physiker beides untrennbar zusammengehört. Aber auch, wenn wir dies zugestehen, sind wir doch weit davon entfernt, mit Machs einfacher Konstatierung der Funktionsbeziehung uns zufrieden zu geben. Denn nunmehr setzt unsere zweite Frage ein: Woher kommt die im Kausalverhältnis gedachte Notwendigkeit? Eine Frage, die Machs „Funktionen“ noch weniger lösen, als die vorige.

Auf diese Frage nun ist schon oft die Antwort gegeben worden, die auch ich für die einzig mögliche halte: Kausale Notwendigkeit ist letzten Endes immer erkannte oder erst vermutete logische Notwendigkeit. Das soll nicht etwa heißen, daß „Realgrund“ mit „logischem Grunde“ gleichzusetzen wäre, daß also die Ursache der logische Grund der Wirkung wäre. Das Kausalverhältnis bezieht sich auf wirkliche Dinge, es meint Reales, das logische Verhältnis dagegen besteht zwischen Urteilen, deren eines aus dem oder den anderen folgt, es betrifft also Ideales. Allein das hebt nun doch nicht auf, daß sowohl das Reale selbst, als auch sein etwaiger realer Zusammenhang vom erkennenden Subjekt gedacht wird, dieses also Urteile über Existenz und Zusammenhänge des Realen abgibt. Behauptet wird nun, daß der Glaube

an die kausale „Notwendigkeit" der Glaube an die logische Notwendigkeit solcher Urteile ist. Das oben angeführte Beispiel von der Schwerkraft und der Planetenbewegung zeigt dieses Verhältnis am deutlichsten. Erstere wie letztere sind selbstredend hierbei als „Wirkliches" gedacht, und zwischen ihnen wird ein wirklicher Zusammenhang gedacht. Eben dies heißt aber nichts anderes, als daß aus dem Urteil: Es existiert zwischen allen Körpern eine Kraft $\varkappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$ logisch notwendig das Urteil: „Die Erde bewegt sich in einer Ellipse um die Sonne" folgt. Eine solche logische Verknüpfung setzt für sich natürlich niemals die betr. Dinge real, von denen die Rede ist. Wenn diese jedoch als real gesetzt sind, so setzt jene auch den Zusammenhang derselben als real; und darauf allein beruht die Überzeugung von der Notwendigkeit dieses Zusammenhangs. Auch in unserem früheren Beispiel: Wärme → Druck liegt die Sache so. Wenn ich die Wärme als Ursache des Druckes innerhalb der Konfiguration „Dampfkessel" bezeichne, so bin ich überzeugt, daß die Funktionsgleichung $p = f(T)$ irgendwie aus allgemeingültigen Sätzen folgt, für die hier ein Spezialfall vorliegt. In unserem Falle leistet nun die kinetische Gastheorie angenähert die Ableitung dieses Zusammenhangs. Allein selbst wenn das nicht der Fall wäre, dieser Zusammenhang uns also einstweilen noch völlig dunkel wäre, so würde das doch nicht hindern, daß wir von einem solchen Zusammenhang überzeugt sind, und darauf allein kommt es für jenes Gefühl der Notwendigkeit an. Daß diese so einfache und naheliegende Betrachtung der Sache immer wieder durch andere viel kompliziertere ersetzt wird, kommt lediglich auf das Konto der idealistischen und phänomenalistischen Erkenntnistheorien. Für den kritischen Realismus liegt gar kein Grund dazu vor, nicht auch die „Zusammenhänge" real sein zu lassen (vgl. hierzu unten S. 68). Wer dagegen das „Kausalverhältnis" nur mit der „unmittelbaren Sukzession" gleichsetzt, muß konsequenterweise sagen, in dem vorliegenden Falle sei die Sache „kausal erklärt", wenn man auf die Frage: Warum steigt der Druck? antworte: weil der Kessel geheizt ist. Allein man sieht sofort, daß jetzt erst die eigentliche Frage kommt: Warum steigt denn beim Heizen der Druck? Antwort: Weil Druck, wie Wärme nur verschiedene Seiten derselben Sache, nämlich der Molekularbewegung sind. Erst hiermit ist die Sache wirklich „kausal erklärt". Die erste „Erklärung" kommt über die bloße Konstatierung des Nacheinanderseins (oder Gleichzeitigseins) letzten Endes doch nicht

hinaus. Zum Kausalverhältnis wird das erst durch das Mitdenken der logischen Ableitbarkeit dieses Nacheinanderseins oder Gleichzeitigseins aus allgemeinen Prinzipien, denn erst dadurch wird es „notwendig". Diese Ableitung selbst braucht aber dabei keineswegs vorzuliegen. Sie muß nur als möglich gedacht werden. Auf eine besondere Anwendung des Kausalbegriffs in der Physik, den Kraftbegriff, kommen wir im folgenden Kapitel zurück. Wir wenden uns nun, ehe wir die Erkenntnisse der modernen Naturlehre über die Atome und Moleküle weiter verfolgen, zunächst dem anderen Zweige unserer Wissenschaft, der Physik zu, und betrachten zuerst dasjenige Kapitel, das historisch wie sachlich die Grundlage für alles weitere gebildet hat und noch bildet, die Mechanik.

Die Grundlagen der Mechanik.

Es muß hier zunächst an den Unterschied der beiden Begriffe Kinematik und Mechanik erinnert werden. Unter ersterer versteht man die reine Bewegungslehre, die nichts weiter als die räumlichen und zeitlichen Vorstellungen benutzt, welche sich in dem Begriffe „Bewegung" zusammenfügen. Hingegen bleibt bei diesem Zweige der Wissenschaft außer acht, ob es überhaupt in der Wirklichkeit derartige Bewegungen wie die behandelten gibt und auf welche Weise sie eventl. zustandekommen. Ein Problem der reinen Kinematik ist beispielsweise die Frage, welche Kurve ein Punkt eines Kreises beschreibt, der auf einem anderen Kreise oder auch einer Geraden mit gleichmäßiger Drehungsgeschwindigkeit entlang rollt und welche Geschwindigkeit der fragliche Kreispunkt dabei an jeder Stelle besitzt (Bewegung auf der Zykloide, Epizykloide oder Hypozykloide). Für die mathematische Formulierung dieses Problems ist nichts weiter nötig, als geometrische Begriffe und die Vorstellung der Ortsveränderung überhaupt, und es leuchtet unmittelbar ein, daß die reine Kinematik völlig auf eine Stufe mit der reinen Geometrie zu stellen ist, wohin auch eine reine „Chronometrie" (im Sinne der Kantschen „transz. Ästhetik") gehören würde. Wie wir in der Geometrie beliebige Figuren konstruieren und deren Eigenschaften untersuchen, so konstruieren wir hier beliebige Bewegungen (in erster Linie natürlich ebenso wie dort solche, die auch eine praktische Bedeutung haben). Mechanik ist dies noch nicht, diese beginnt vielmehr erst mit der Frage nach den Ursachen

der in der Wirklichkeit beobachteten Bewegungen, also z. B.: Warum bewegt sich die Erde in einer Ellipse? Warum fällt ein frei fallender Körper mit gleichmäßiger Beschleunigung? Warum gehen beim „Zentrifugieren“ von Milch die Fetteile nach innen usw.? Bei dieser Auffassung bildet die Kinematik also eine Vorstufe der Physik (Mechanik). Ihre Gültigkeit ist von allem physikalischen Inhalt unabhängig, ganz ebenso wie die der Geometrie. Die physikalischen Erscheinungen ziehen in den zeitlich-räumlichen Rahmen der Kinematik sozusagen „wie in eine leere Mietskaserne“ hinein (Weyl).

Es ist bekannt, daß die Grundlegung beider Gebiete, sowohl einer rationellen Kinematik, wie einer zutreffenden, d. h. mit der Wirklichkeit übereinstimmenden Mechanik, durch Galilei und seine Zeitgenossen erfolgt ist. Für die Kinematik beruht Galileis Hauptverdienst in der Schaffung der Begriffe: Momentangeschwindigkeit, d. i. Geschwindigkeit in einem bestimmten Augenblicke $\left(\frac{ds}{dt}\right)$ und Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit $\left(\frac{dv}{dt}\right)$. Er entwickelte diese Begriffe an dem Beispiel des Falls auf der schiefen Ebene. Die Notwendigkeit, zur exakten Fassung dieser Begriffe mit dem Grenzbegriff des Quotienten aus zwei unendlich klein werdenden Größen zu operieren, wurde dann eines der treibenden Motive zur Begründung der Infinitesimalrechnung. Auf die hiermit aufs engste verbundenen Fragen nach dem Wesen des Unendlichen (bzw. unendlich Kleinen) in der Mathematik und Physik, kann hier nicht eingegangen werden[26]. Mit ihnen hängt wieder aufs engste die Frage der Kontinuität der Welt zusammen. Boltzmann hat die auf den ersten Blick etwas absonderliche, schließlich jedoch nicht unmögliche Idee einer in kleinsten Zeiten bzw. Räumen diskontinuierlichen Welt in dem bekannten Worte: „Die Welt ein Kinematograph“ formuliert. Undenkbar erscheint eine solche Möglichkeit nicht, es wäre sogar diskutierbar, ob nicht gewisse neuere Ergebnisse (s. u.) hierauf zurückführbar wären. Doch sei von dieser bisher nicht ernsthaft durchgeführten, sondern nur als kühne mathematische Konstruktion gedachten Vorstellung hier abgesehen. Im allgemeinen hat die Wissenschaft, wie schon oben erwähnt, den Satz: natura non facit saltus so oft bestätigt gefunden, daß sie vorläufig — außer vielleicht in der Quantentheorie — keinen Grund gehabt hat, davon abzusehen. Es ist nur gut, nicht aus dem Auge zu verlieren, daß hier noch neue

Möglichkeiten der Forschung liegen. — Wichtiger dagegen als derartige Erweiterungen bzw. Abänderungen des üblichen physikalischen Weltbildes und für die Gegenwart von geradezu fundamentaler Bedeutung sind diejenigen Forschungen geworden, welche man unter dem Namen „nichteuklidische Geometrie" (bzw. nicht galileische Kinematik) zusammenfaßt. Wir kommen auf diese unten ausführlich zurück, setzen jedoch einstweilen, wie das fast drei Jahrhunderte lang geschehen ist, die galileische Kinematik als selbstverständlich und unabhängig von aller Physik gültig voraus.

Den Übergang von der bloßen Kinematik zur eigentlichen Mechanik und die wesentliche Grundlage der letzteren bildet das ebenfalls von Galilei, wenn auch zunächst nur in einem speziellen Fall, ausgesprochene Beharrungs- oder Trägheitsgesetz. Über diesen Satz, seine Beziehung zum allgemeinen Kausalgesetz[26], zum Erhaltungsgesetz (S. 71. 144), zum Kraft- und Massenbegriff u. a. ist seit Descartes, Leibniz und Newton so viel geschrieben worden, daß es völlig unmöglich ist, hier auch nur auf einen kleinen Teil alles dessen einzugehen. Mit seiner einwandfreien Formulierung hängt jedoch aufs innigste ein anderes ebensoviel diskutiertes Problem, das der absoluten bzw. relativen Bewegung aufs innigste zusammen und auf diese Seite der Sache muß hier im Hinblick auf später zu Erörterndes unbedingt kurz eingegangen werden[27].

Der Trägheitssatz sagt bekanntlich aus, daß ein sich völlig selbst überlassener Körper sich stets in gerader Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt. Allein man sieht leicht ein, daß schon hierin eigentlich eine Art contradictio in adjecto steckt. Denn woran soll diese Bewegung konstatiert werden? Das ist doch nur möglich durch Beziehung auf andere Körper. Sind aber solche da, so ist der Körper eben auch niemals „sich selbst überlassen". Eine zweite Schwierigkeit steckt in der Forderung der „gleichmäßigen Geschwindigkeit". Denn diese besagt, daß in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurückgelegt werden, setzt also voraus, daß man solche Messungen ausführen kann. Nun geschieht aber die Messung gleicher Zeiten tatsächlich mit Hilfe — gleichförmiger Bewegungen, in erster Linie der Bewegung der Erde um ihre Achse, die als reibungslos und daher nach dem Beharrungsgesetz erfolgend vorausgesetzt wird. Es scheint somit hier ein circulus vitiosus unvermeidlich zu sein. Die letztere Schwierigkeit läßt sich jedoch, wie schon oft bemerkt worden ist, dadurch umgehen, daß man der Zeitmessung ein anderes Prinzip, das

sogenannte „Prinzip der identischen Veränderungen" zugrunde legt: der gleiche Vorgang gebraucht stets die gleiche Zeit. (Man denke etwa an einen bestimmten chemischen Vorgang. z. B. die Zerlegung von Rohrzucker in Trauben- und Fruchtzucker durch Erhitzen mit Säure in stets gleicher Konzentration und bei gleicher Temperatur und gleichem Druck). Es kommt dabei nicht darauf an, ob wir wirklich die Bedingungen g e n a u so wiederherstellen können. Dies ist sogar sicher nicht der Fall, da man niemals zwei ganz genau gleiche Bedingungskomplexe erzielen kann. Wir können trotzdem behaupten, daß die fraglichen Zeiten in demselben Grade der Annäherung als gleich betrachtet werden dürfen, in dem die Gleichheit der Bedingungen verwirklicht ist (vgl. hierzu unten S. 67). In diesem Sinne ist auch die Wasser- und Sanduhr und das Pendel der heutigen Uhr als Annäherung an die Forderung der „identischen Veränderungen" anzusehen. Das Prinzip selbst ist vielfach (so von Maxwell) als unmittelbare Folge des „Kausalgesetzes" (besser des Satzes von der eindeutigen Bestimmtheit des physikalisch-chemischen Geschehens) hingestellt worden.

Es kommt hier nicht darauf an, ob das zutrifft oder ob das Prinzip etwa ein nicht weiter ableitbares „Axiom" wäre. Jedenfalls ermöglicht es anscheinend eine grundsätzlich vom Trägheitssatz unabhängige Zeitmessung, und tatsächlich kann man ja auch diesen Satz ungenähert nur dadurch experimentell bestätigen, daß man irgendeine möglichst hindernisfreie Bewegung mit der Uhr in der Hand verfolgt. Wenn nun aber auch diese Schwierigkeit so lösbar erscheint, so bleibt doch die erste bestehen, die wir auch auf die Form bringen können, i n b e z u g a u f w e l c h e s „K o o r d i n a t e n s y s t e m" e i g e n t l i c h d e r T r ä g h e i t s s a t z (b z w. d i e a u s i h m f l i e ß e n d e n G r u n d g l e i c h u n g e n d e r M e c h a n i k) g e l t e n ? Hierin steckt zugleich die Frage, in bezug auf welches Koordinatensystem jene Wirkungen gelten, die wir als Wirkungen der Trägheit zu deuten gewöhnt sind, z. B. die Zentrifugalkraft (etwa bei der Abplattung der Erde), der Foucaultsche Pendelversuch und dergleichen. Man sieht leicht ein, daß derartige Wirkungen die Feststellung einer D r e h u n g offenbar auch dann gestatten, wenn keine äußeren Bezugskörper sichtbar sind. Wir würden auf diese Weise z. B. die Drehung der Erde auch dann konstatieren können, wenn uns der Sternenhimmel durch eine undurchdringliche Nebelhülle verdeckt und das Licht nicht durch die periodisch wiederkehrende Sonne, sondern irgendwie von allen Seiten gleichmäßig gespendet würde, so daß der Gegensatz von Tag und Nacht

wegfiele. Die Drehung (Rotation) scheint demnach eine absolute Bewegung zu sein. Demgegenüber ist die rein „fortschreitende" Bewegung (d. h. Parallelverschiebung ohne Drehung) offenbar nur feststellbar durch Bezugnahme auf ein gegebenes Koordinatensystem. Denn da nach Galilei-Newtonscher Grundanschauung alle zwischen den Körpern wirkenden Kräfte lediglich Beschleunigungen bestimmen, so kann in einem Körpersystem, das als Ganzes irgendeine gleichförmige Verschiebung ausführt, hierdurch keinerlei merkbarer Erfolg erzielt werden, es unterscheidet sich in nichts von einem ruhenden System. Dieses Dilemma — Relativität bloßer Fortschreitung, dagegen Absolutheit der Drehung — hat, seitdem Newton es zuerst klar erkannt und formuliert hat, unzählige Erörterungen veranlaßt. Es ist für spätere Untersuchungen wichtig, klarzustellen, daß man die Absolutheit statt für Rotation auch allgemeiner für Beschleunigungen aussprechen kann. Stehen wir in einem Eisenbahnzuge, so spüren wir während des Bremsens deutlich eine scheinbare Kraft, die den Oberkörper in der Fahrtrichtung treibt. Eine Schale mit Wasser würde im gleichen Fall eine Erhöhung des Flüssigkeitsspiegels an der Lokomotivenseite, eine Erniedrigung an der entgegengesetzten aufweisen. Diese Erscheinungen blieben auch dann bestehen, wenn die Bremse sowohl als die Räder und Federn der Wagen so glatt und geräuschlos arbeiteten, daß wir dadurch von der eintretenden Verzögerung keinerlei Kunde erhielten (natürlich gilt dasselbe auch für eine Beschleunigung der Fahrt). In der Mechanik wird nun gezeigt, daß jede von der Geraden abweichende Bewegung (also auch z. B. eine Rotationsbewegung) aufzufassen ist als Zusammensetzung einer Bewegung in der früheren Richtung (Trägheit!) und einer Zusatzgeschwindigkeit (mit anderen Worten einer Beschleunigung) in einer anderen, meist zu der ersten senkrechten Richtung. Damit ist die Rotation unter den weiteren Begriff der „beschleunigten" Bewegung eingeordnet. In diesem Sinne kann man somit allgemein den Galilei-Newtonschen Standpunkt so charakterisieren, daß man sagt: Gleichförmige Geschwindigkeit ist nur relativ, Beschleunigung dagegen absolut feststellbar. Die Lösungen dieses merkwürdigen Dilemmas lassen sich im wesentlichen in drei Kategorien ordnen: 1. Man bleibt bei dem oben ausgesprochenen Satze stehen, spricht die Gleichwertigkeit aller gegeneinander nur fortschreitend (translatorisch) bewegter Koordinatensysteme aus und bezieht die Beschleunigung auf irgendeines derselben, lehnt

jedoch weitere Spekulationen als für die Physik müssig ab. 2. Man stellt sich zunächst physikalisch auf denselben Standpunkt, läßt es aber dahingestellt, ob nicht doch einmal auf andere als mechanische Weise (etwa elektromagnetisch-optisch) auch die absolute Verschiebung bestimmbar werden könnte, (wobei der absolute Raum meist mit dem „Äther" identifiziert wird). Oder man knüpft an die genannte Feststellung einen Fortgang der Betrachtung bis ins Unendliche, d. h. man bezieht zunächst die Verschiebungen etwa innerhalb des Sonnensystems auf ein mit diesem gegebenes unveränderliches Koordinatensystem (z. B. die „Laplacesche Ebene"), erweitert die Betrachtung dann auf den Fixsternhimmel, dem wir offenbar ein ebensolches unveränderliches Koordinatensystem zuschreiben dürfen usw. und erklärt den absoluten Raum als die Grenze, der sich diese Reihe nähert. — 3. Während nun diese beiden Lösungsarten die Grundlage, nämlich die Anerkennung der absoluten Beschleunigung gemeinsam haben (auch wenn man diese wie L a n g e nur als relativ zu einem „Inertialsystem" fassen will), so unterscheidet sich eine dritte Gruppe von Lösungen grundsätzlich davon. Es ist die von M a c h vertretene und neuerdings durch E i n s t e i n zu ungeahnter Bedeutung gelangte rein empiristische Lösung: Das Trägheitsgesetz gilt mit Bezug auf — den Fixsternhimmel. Denkt man sich diesen fort, so hat man sich auch die Zentrifugalkräfte usw. fortzudenken. Es ist also nicht zulässig, wie es z. B. Newton und N e u m a n n taten, sich einen isolierten rotierenden Körper mit Zentrifugalkräften vorzustellen. „Der Mathematiker hat hier von der an sich zulässigen Methode des Gedankenexperiments einen allzu freien Gebrauch gemacht." (Mach) Gegen diese Auffassung spricht offenbar der Umstand, daß es uns zunächst gänzlich fern liegt, eine solche Beziehung etwa der Abplattung der Erde auf den Fixsternhimmel anzunehmen. Es spricht zudem dagegen, wie besonders A l. M ü l l e r in seiner trefflichen Darstellung des Problems scharf betont hat, daß doch die Eigenbewegungen der Fixsterne selbst, die in neuerer Zeit immer besser bekannt geworden sind, auf eine Wirkung der Trägheit auch an dem ganzen Fixsternsystem (der Milchstraße) schließen lassen. Man vgl. die Analogie mit den Spiralnebeln, die doch stark an Zentrifugalwirkungen denken lassen (s. S. 188) Diese ganze Stellungnahme erschien daher, solange M a c h nicht direkte Einflüsse dieser Art wahrscheinlich machen konnte, als ein mehr aus dem konsequenten Empirismus ihres Urhebers, als aus physikalischer Denkweise folgender geistreicher Einfall, und der Verf. bekennt gern,

daß er sie deshalb bis zu Einsteins „allgemeiner Relativitätstheorie" auch völlig abgelehnt hat. Wie sich nun infolge dieser die Lage unterdessen geändert hat, wird unten zu erörtern sein. Sind auch die Bedenken keineswegs damit alle gehoben, so erscheint die Sache doch in einem völlig neuen Licht, weil nunmehr auch andere aus jener Annahme fließende Folgerungen sich bestätigt haben, somit die Annahme derartiger „Einflüsse" nicht mehr ganz so haltlos erscheint, wie zu der Zeit, als Mach sie aussprach.

An das Trägheitsprinzip schließen sich unmittelbar die Begriffe Kraft und Masse an. Bewegt sich ein Körper nicht in gerader Linie mit gleicher Geschwindigkeit, so ist zu schließen, daß er nicht sich selbst überlassen ist, daß er also äußeren Einflüssen unterliegt. Diese Einflüsse nennt die Physik Kräfte, und es knüpft sich hier sogleich eine Reihe weiterer erkenntnistheoretischer Fragen an: Geht mit der Einführung dieses Begriffs die Physik nicht über die unmittelbare Erfahrung, die doch nur das Auftreten der Beschleunigungen zeigt, hinaus? Liegt dem Kraftbegriff etwa doch ein instinktiver Anthropomorphismus zugrunde, wäre also die Kraft nach Tylors Wort „der letzte Rest von Fetischismus in der modernen Physik?" Oder ist die Kraft nur der Ausdruck für die Kausalitätsforderung, und ist sie in demselben Sinne eine Realität, wie sonst die „Ursache" real ist? Da wir oben das Kausalitätsproblem ausführlicher erörtert haben, können wir uns hier kürzer fassen. Nach dem oben dargelegten ist die rein nominalistische Auffassung der Kraft im modernen Positivismus abzulehnen. Die Kraft ist insofern mehr als ein bloßer Name (für das Produkt aus der Beschleunigung und der Masse), als sie vorhanden gedacht wird, auch ohne daß der Körper da ist, auf den sie wirkt. Niemand bezweifelt im Grunde, daß die Kraft in einer gespannten Feder auch dann existiert, wenn kein Körper durch sie in Bewegung gesetzt wird. Daß wir ihre Größe durch das Produkt aus der Masse des letzteren und seiner Beschleunigung messen können, ist richtig. Allein das Messungsverfahren ist keine Definition[28]. Es kommt an hundert Stellen der Physik vor, daß wir ein und dieselbe Größe auf ganz verschiedene Weisen messen. In jedem dieser Fälle fassen wir die fragliche Größe selbst doch als stets dieselbe auf und als existierend ganz unabhängig vom Messungsverfahren. Im Sinne des früher Erörterten kann das nur heißen —, daß wir sie als unmittelbar durch die vorliegende Konfiguration (zusammengedrückte Feder) bestimmt ansehen, ganz gleichgültig, welche „Wirkungen" damit auf Grund irgendwelcher allgemeinen Sätze verknüpft sind. An

dem Beispiel der Gravitation und Planetenbewegung ist dieser Sachverhalt schon oben auseinandergesetzt. Das Wesentliche an der Sache ist danach gerade das, was über den bloßen Nominalismus hinausgreift, die neue Setzung eines Realen auch außerhalb des gerade vorliegenden Wirkungszusammenhanges, damit aber zugleich die Forderung, diesen aus allgemeinen Prinzipien zu „erklären". So angesehen ist der Kraftbegriff das Mittel, um den Zusammenhang der physikalischen Erscheinungen herzustellen, das erst dann sich in eine bloße konventionelle Beziehung umwandeln würde, wenn es gelungen wäre, sämtliche physikalischen Zusammenhänge aus einem einheitlichen Sachverhalt als Spezialfälle abzuleiten (s. unten S. 145).

Verwickelter liegt die Sache hinsichtlich des Massenbegriffes. Um hierüber Klarheit zu verschaffen, ist es vor allem nötig, darauf hinzuweisen, daß in der Bezeichnung „schwere Masse" im täglichen Leben fortwährend zwei an sich durchaus zu trennende Begriffe vermengt werden. Wer diese Trennung nicht auszuführen und durchzuführen imstande ist, wird die gesamte Physik niemals richtig verstehen. Diese beiden Begriffe sind die Trägheit und die Gravitation. Zwei Körper (I und II) unterscheiden sich im allgemeinen in ihrer Trägheit, d. h. sie erfahren unter dem Einfluß der gleichen äußeren Umstände (Kraftwirkung) verschiedene große Beschleunigungen a_1 und a_2 und die Erfahrung ergibt, daß das Verhältnis der Beschleunigungen $\frac{a_1}{a_2}$ stets das gleiche ist, mögen auch die Kräfte und damit die absoluten Größen der Beschleunigungen noch so verschieden sein. Dieses Verhältnis ist somit eine für dieses Körperpaar charakteristische Konstante, es ist bestimmt durch eine Eigenschaft, die offenbar nur den Körpern selbst zukommt, unabhängig von der äußeren Einwirkung[89]. Nehmen wir einen beliebigen Körper, z. B. 1 ccm Wasser von 4°, als Normalkörper, so können wir jeden anderen Körper hinsichtlich seines „Trägheitswiderstandes" auf die eben erörterte Weise mit diesem vergleichen, und wir werden dann also sagen, daß der Trägheitswiderstand desselben m mal so groß sei, als der des Normalkörpers, wenn seine Beschleunigung unter gleichen Umständen m mal so klein ist, als die des letzteren. Diese Zahl m nun, (deren Betrag für den Normalkörper selbst = 1 zu setzen ist), ist die Maßzahl für die „Masse" des Körpers. Der Begriff, der dieser Größe also zugrunde liegt, ist der des Trägheitswiderstandes. Der Körper ist „mehr oder minder leicht zu bewegen", das ist anschaulich gesprochen, der Inhalt des Massenbegriffes.

Die Kraft selbst wird dann gemessen durch das Produkt aus der Masse und der erzielten Beschleunigung ($K = m \cdot a$). Auf dieser „Grundgleichung der Mechanik" beruht das ganze physikalische Maßsystem, das bekanntlich alle physikalischen Größen letztlich durch die Maße für Länge (cm), Zeit (sec) und Masse (g) mißt. (Zentimeter-, Gramm-, Sekundensystem). Die Möglichkeit dazu ruht auf der universalen Verwendbarkeit des Kraftbegriffes (s. oben) und des hiervon abzuleitenden Energiebegriffes (s. unten). — Nun zeigt aber weiter die alltägliche Erfahrung, daß ein Körper, der unter sonst gleichen Umständen schwerer zu bewegen ist als ein anderer, auch ein größeres Gewicht hat als dieser, d. h. daß er diesen an einer Wage überwiegt und auf die Hand gelegt, einen größeren Druck ausübt. Diese Wirkungen sind Folgen der Gravitation seitens der Erde oder richtiger: zwischen dem Körper und der Erde. Wir kommen also zu dem Ergebnis, daß mit der Trägheit eines Körpers auch seine Gravitation wächst, und die Tatsache, daß im leeren Raum alle Körper gleich schnell fallen (u. a.), beweist weiter, daß diese Beziehung eine genaue Proportionalität ist, (soweit die bisherige Beobachtung reicht[30]. Nur dann nämlich, wenn mit der Masse, d. h. der Trägheit, des von der Erde angezogenen Körpers gleichzeitig auch die Anziehungskraft selbst im gleichen Verhältnis wächst, behält die Beschleunigung $\left(a = \frac{K}{m}\right)$ am gleichen Ort denselben Wert (981 cm, sec). Eben wegen dieser ausnahmslosen Proportionalität beider Größen ist es nun für den nicht im physikalischen Denken Geschulten so überaus schwierig, jene beiden Begriffe, die in dem Worte „schwer" völlig verfilzt sind, auseinanderzuhalten, weil ja die tägliche Erfahrung stets beides untrennbar vereinigt zeigt, so daß dem naiven Denken die Notwendigkeit der begrifflichen Trennung gar nicht zum Bewußtsein kommt. Auch einem Galilei ist diese noch nicht klar gewesen, erst das Genie Newtons hat den Schritt der Trennung zwischen „Masse" und „Gewicht" vollzogen. Trotzdem ist es aber auch Newton noch nicht gelungen, eine einwandfreie Definition der Masse zu geben, die er mit „quantitas materiae" bezeichnete. Es spielen hier in den rein dynamischen (mechanischen) Massenbegriff allgemeinere Vorstellungen hinein, denen trotz der scharfen Kritik, die seitens Machs und der Positivisten daran geübt ist, eine gewisse Berechtigung nicht abzusprechen ist, die aber natürlich nicht zu Zirkeln, wie ein solcher durch die Newtonsche Massendefinition nahegelegt wird,

führen dürfen[31]. Das Wesentliche an der Sache dürfte sich etwa folgendermaßen umschreiben lassen:

Wenn man im täglichen Leben von einer mehr oder minder großen Masse spricht, (die man etwa von irgendeiner Substanz, z. B. Holz oder Erbsen oder Eisen gekauft hat), so liegt es einem dabei, außer in besonderen Fällen, meist weder an der Trägheit noch an der Gravitation dieses „Quantums Stoff" (quantitas materiae), sondern an irgendwelchen anderen, vielfach mehreren Eigenschaften zugleich, die dieser Stoff hat, und die mit seiner Menge, d. h. hier zunächst seinem Volum, proportional wachsen, bei den Erbsen z. B. etwa an dem in Kalorien auszudrückenden Nährwert, bei dem Holz an dem Brennwert u. a. mehr. Wenn wir diese Quantitäten uns „abwiegen" lassen, so benutzen wir nur die Tatsache, daß bei gleichem Stoff die Gravitation ebenso wie viele andere Größen (z. B. die Wärmekapazität, die Verbrennungswärme u. a.) mit dem Volum zunimmt, um der unbequemeren Volummessung zu entgehen, und sie durch die bequemere Gravitationsmessung zu ersetzen und so wird uns dann das Gewicht zum Repräsentanten der Stoffmenge überhaupt. Da andererseits die Trägheit dem Gewicht proportional ist, so könnten wir natürlich auch diese als Maß für die quantitas materiae betrachten, daran denkt indessen kaum jemand, der eine bestimmte „Masse" (im vulgären Sinne) haben will. — Nun kommt zu diesem Sachverhalt folgendes hinzu: Es wurde schon in der Einleitung gesagt, daß seit den ältesten Zeiten die Philosophie den Begriff der Substanz oder Materia (hyle) geprägt hat; als eines beharrenden Trägers der verschiedenen Eigenschaften (Akzidenzen). Die großen Entdeckungen Galileis, Keplers, Newtons usf. ermöglichten nun der damaligen Naturphilosophie eine außerordentlich viel schärfere Präzisierung dieses Begriffes, als vordem. Nachdem man gesehen hatte, wie mit Hilfe des Gravitationsgesetzes und der einfachen Prinzipien der Mechanik die gesamten damals genauerer Beobachtung zugänglichen Himmelserscheinungen sich herleiten ließen, nachdem man zugleich eine Fülle anderer mechanischer Vorgänge mit Hilfe dieses Begriffssystems bewältigt hatte, war es nur natürlich, daß man in ihm den Schlüssel für sämtliche Naturerscheinungen überhaupt gefunden zu haben glaubte. Es entstand die Vorstellung, daß die Welt ein ungeheueres System von Massenpunkten, d. h. lediglich mit Trägheit, aber mit sonst keiner anderen Eigenschaft ausgestatteten Punkten sei,

zwischen denen anziehende oder abstoßende Kräfte von ganz bestimmter Größe angenommen werden mußten, und daß sich somit die gesamte Welterklärung im Prinzip auf die Differentialgleichungen der Mechanik zurückführen lassen müsse. Den großartigsten und klarsten Ausdruck findet dieses rein mechanische Weltbild in Laplaces bekannter später von E. Du Bois-Reymond seiner Darlegung der „Welträtsel“ zugrunde gelegten Fiktion eines Weltgeistes, der in einem gegebenen Augenblick die Lagen sämtlicher Massenpunkte des Universums, sowie ihre Momentangeschwindigkeiten kennte und dazu im Besitz eines unermeßlichen Systems von Differentialgleichungen wäre, denen gemäß jene mit den Beschleunigungen verknüpft wären. Dieser Geist würde, so folgert Laplace, imstande sein, alles Geschehen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft mit derselben Genauigkeit oder vielmehr mit einer noch vollkommeneren, weil absoluten Genauigkeit übersehen, wie der Astronom Sonnen- und Mondfinsternisse oder Planetenkonstellationen auf Jahrtausende vorwärts oder rückwärts berechnen kann. — Hierbei erscheint nun die Gesamtsumme aller Massenpunkte völlig unveränderlich; dieselben ändern lediglich ihre Lagen und Bewegungen gegen einander, und so gelangte die damalige Naturphilosophie denn zu dem Satze von der Unveränderlichkeit der Summe aller Massen. Die mechanische Masse schien damit der streng mathematische Begriff zu sein, der an Stelle des unbestimmten Substanz-(Materie)begriffs zu treten habe, und der „Satz von der Erhaltung der Masse“ fiel zusammen mit dem uralten Satz von der Unveränderlichkeit der Gesamtsumme aller Substanz im Weltall. — Nun liegt ja die Sache tatsächlich so, daß nicht nur bei allen physikalischen Vorgängen, sondern, wie zuerst Lavoisier durch exakte Versuche zeigte, sogar bei chemischen Vorgängen die Gesamtsumme der Gewichte aller dabei beteiligten Stoffe unveränderlich ist und da Gewicht und Trägheit (Masse) proportional sind, so gilt also tatsächlich, daß bei allen bisher betrachteten Vorgängen wirklich die Summe aller Massen konstant bleibt. Nimmt man nun hierzu die allgemeine Gewöhnung, in dem Gewichte ohne weiteres den Repräsentanten der Stoffmenge zu sehen (s. oben), so wird es klar, weshalb bis in die neueste Zeit hinein mit absoluter Selbstverständlichkeit die schwere und träge Masse ohne weiteres begrifflich in eins gesetzt wurde mit „Stoffmenge“ überhaupt, obwohl dies, auf zwei verschiedenartige Substanzen (z. B. Eisen und Kupfer) angewendet, an sich eine reine Übereinkunftssache ist. Es ist von grundlegender Wichtigkeit für die Einsicht

in die neueren Ergebnisse, sich klar zu machen, daß letzten Endes die Versuche Lavoisiers u. a. doch nichts weiter beweisen, als den Satz, daß bei allen bisher untersuchten physikalischen und chemischen Vorgängen sich zwar viele andere Eigenschaften der Körper ändern, Trägheit und Gravitation jedoch nicht, m. a. W., daß diese, soweit wir bisher die Sache verfolgt haben, sich stets einfach durch Addition aus den Teilen bestimmen (additive Konstante sind, wie man sagt). Es ist damit aber natürlich keineswegs gesagt, daß dies schlechthin für alle Naturvorgänge überhaupt so sein müsse. Trägheit und Gravitation sind Eigenschaften der Körper, wie andere auch, und warum sollte es nicht noch tiefer greifende Vorgänge als die chemischen es geben, bei denen schließlich auch diese Eigenschaften eine Änderung erfahren könnten? Wenn es überhaupt ein allgemeines Erhaltungsgesetz gibt (s. unten), so ist damit doch noch nicht gesagt, daß dieses eine absolute Erhaltung gerade dieser beiden Eigenschaften aussagen müßte. So sieht die Sache nun freilich erst von dem heutigen umfassenderen Standpunkte aus. Solange man glaubte, die ganze Physik auf die Bewegungen von Massenpunkten zurückführen zu können, mit anderen Worten, solange das mechanische Weltbild galt, war die Masse selbstverständlich das Maß für die Substanz schlechthin[32].

An diese Erörterungen knüpfen wir schließlich zweckmäßig mit Rücksicht auf das später zu Erörternde noch eine kurze Darlegung der mechanischen Grundlagen des Arbeits- und Energiebegriffes. Bei der Anwendung der schon im Altertum bekannten „einfachen Maschinen" (Hebel, Rolle, Flaschenzug, schiefe Ebene usw.) gilt bekanntlich die sog. „goldene Regel der Mechanik": Was man an Kraft spart, muß man am Wege zusetzen oder genauer: Je kleiner die Kraft wird, desto größer ist der mit ihr zurückzulegende Weg. Das Produkt aus beiden (K·s) ist daher eine unveränderliche Größe, man kann stets nur den einen Faktor auf Kosten des anderen verkleinern oder vergrößern. Dies Produkt stellt also eine für den vorliegenden Fall (z. B. Hebung eines schweren Körpers um eine bestimmte Strecke) ein für allemal gegebene Größe vor, der man zweckmäßig einen besonderen Namen[33] gibt. Man nennt sie Arbeit, und mißt diese nach dem Gesagten durch das Produkt aus Kraft mal Weg (A = K · s). Nimmt man als Krafteinheit ein Dyn (das ist die Kraft, die der Masse 1 g die Beschleunigung 1 (cm, sec) erteilt), so ist die Arbeitseinheit demnach = 1 Dyn mal 1 cm. Diese führt den Namen Erg (von ergon, Werk), und da sie für praktische Zwecke zu klein ist, so benutzt man hierfür eine 10 Millionen (10^7) mal größere Einheit: 1 Joule. (Mit Hilfe des Wertes der Fallbeschleunigung 981 (cm, sec) berechnet man leicht, daß zur Hebung eines Gewichts von 1 kg um 1 m eine Arbeit von 9,81 Joule erforderlich ist. Dies sei hier nur zur Veranschaulichung angeführt.)

Haben wir nun bisher vorausgesetzt, daß die zur Arbeitsleistung nötige Kraft durch unsere Muskeln oder sonst eine „Kraft" im engeren Sinne geliefert wird, so müssen wir jetzt auf die Tatsache unser Augenmerk richten, daß Arbeit auch von einem bewegten Körper geleistet werden kann. Wir können z. B. durch den Schuß einer Flintenkugel gegen einen anderen Körper nicht nur dessen Teile auseinandersprengen, also Arbeit gegen die Kohäsionskräfte leisten, sondern auch durch geeignete Konstruktion es erreichen, daß Teile dieses Körpers oder der ganze Körper eine beträchtliche Strecke in die Höhe fliegen, daß also Arbeit gegen die Schwerkraft (Gewicht mal Hubstrecke) geleistet wird. Noch einfacher zeigt uns diese Tatsache das Pendel. Indem man dieses aus seiner Ruhelage verschiebt (Abb. 3) leistet man Arbeit, da ja der Pendelkörper dabei gehoben wird. Läßt man es nun in B los, so schwingt es nach A zurück und kommt hier mit einer solchen „lebendigen Kraft" (Wucht) an, daß es auf der anderen Seite, wenn keine Reibung vorhanden ist, genau so hoch wieder ansteigt, wie vorher. Diese „lebendige Kraft" ist also imstande, Arbeit von dem gleichen Betrage zu leisten, wie sie vorher von uns geleistet wurde. Man nennt nun in der Physik jede mit Arbeit gleichwertige Größe Energie und spricht deshalb hier statt von „lebendiger Kraft" besser von Bewegungsenergie (da das Wort „Kraft" schon für eine andere Größe, das Produkt aus Masse und Beschleunigung, vergeben war).

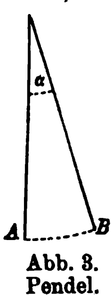


Abb. 3. Pendel.

Offenbar ist die Bewegungsenergie eines bewegten Körpers um so größer, einmal je größer seine Geschwindigkeit v ist, zum andern je größer seine träge Masse m ist. Die Rechnung zeigt, wie in jedem Physiklehrbuch nachzulesen ist, daß sie $= \frac{1}{2} m v^2$ zu setzen ist. An dem Pendel ist nun auch ein weiterer Grundbegriff der Energielehre sogleich einzusehen. Ist dasselbe auf der anderen Seite wieder gestiegen, so ist seine Bewegungs- (oder kinetische) Energie verzehrt, dafür ist es ja nun aber wieder oben und kann im Herunterfallen abermals die gleiche Arbeit wieder hergeben, wie zuvor. Man sagt deshalb, das Pendel (oder richtiger das System Pendel-Erde) besitze in den Punkten B Zustands- oder potentielle Energie, die sich während des Herunterfallens in die kinetische Energie umsetzt, während umgekehrt während des Steigens diese sich in jene verwandelt. Als Maß der Zustandsenergie ist wiederum der Arbeitsbetrag anzusehen, den wir ursprünglich in das Pendel hineingesteckt haben, also das Produkt aus dem Gewicht des Pendelkörpers und der Hubhöhe. Das Pendel verwandelt somit fortwährend die eine Form der Energie in die andere, und, wie sich leicht durch Rechnung nachweisen läßt, sind nicht nur die beiden Endbeträge (kin. E. in A, pot. E. in B) gleich, sondern auch für jeden Zwischenpunkt der Bahn gilt der Satz, daß die potentielle Energie stets um so viel zugenommen wie die kinetische abgenommen hat und umgekehrt, mit anderen Worten, daß die Summe aus der potentiellen und der kinetischen Energie für den ganzen Vorgang konstant bleibt. Dieser Satz heißt der Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie. Er gilt natürlich nur als Annäherung, da wir in Wahr-

heit die Vorgänge sich nicht reibungs- (hindernis-) frei vollziehen lassen können. Er gilt aber für alle auch noch so komplizierten rein mechanischen Vorgänge, sofern wir von solchen Hinderniskräften wie Reibung, Luftwiderstand u. dgl. absehen. Begründet von Huyghens und Leibniz, hat diese Erkenntnis merkwürdigerweise über 100 Jahre sozusagen schlummern müssen, ehe sie in ihrer fundamentalen Bedeutung erkannt wurde, obwohl schon Leibniz in diesem Satze das allgemeine Weltgesetz von der „Erhaltung der Kraft" (wie man früher in diesem Zusammenhange sagte) gesehen hat[34]. Wir kommen auf die zu dieser Erweiterung führenden Tatsachen und Gedankengänge sehr bald zurück, werfen aber zunächst einen Blick auf

Die Einzelgebiete der Physik.

Die verschiedenen Formen, in denen das physikalische Geschehen uns z. B. im Fallen des Regentropfens, im Sonnenstrahl, der den Boden erwärmt, im leuchtenden Regenbogen, im Zucken des Blitzes und im Rollen des Donners entgegentritt, pflegen wir als die Äußerungen verschiedener „Naturkräfte" (Schwere, Wärme, Licht, Elektrizität, Schall usw.) zu bezeichnen. Jede einzelne derselben erscheint uns als ein qualitativ von den anderen gänzlich verschiedenes Etwas. Es ist aber nur die *qualitative Verschiedenheit unserer Sinnesempfindungen*, die wir hierbei unbesehens in die Außenwelt übertragen. Erst die (erkenntnistheoretische) Reflexion belehrt uns darüber, daß dies nicht ohne weiteres zulässig ist. Die Sonnenstrahlen z. B. rufen auf der Hand das Gefühl der Wärme, im Auge die Empfindung des Lichtes hervor. Sind nun in ihnen deshalb zwei verschiedene „Naturkräfte" anwesend, oder aber ist es ein und dieselbe Ursache, die nur die beiden verschiedenen Sinnesorgane bzw. durch sie zwei verschiedene Partien des Gehirns zu verschiedenen Empfindungen anregt? Gerade dieses Beispiel zeigt uns, wie schwer es auch für die wissenschaftliche physikalische Forschung gewesen ist, von jenem „naiven Realismus" sich gänzlich loszulösen. Denn erst in unseren Tagen ist die Überzeugung allgemein durchgedrungen, daß nur die zweite Antwort richtig, die Sonnenstrahlung also nur von einerlei Art ist und der Unterschied erst im Körper bzw. der Seele beginnt. Wir haben kein anderes Mittel, diese Fragen zu entscheiden, als die kombinierende, zergliedernde, vergleichende Tätigkeit des Verstandes.

Alle Physik beginnt daher nicht nur in der Geschichte, sondern heute noch im Unterricht, mit einer getrennten Untersuchung aller jener Einzelgebiete. Die übliche Einteilung der Physik in Mechanik, Akustik, Optik,

Wärmelehre, Elektrik und Magnetik ist allgemein bekannt. Die zweite Stufe der Erkenntnis besteht alsdann in der Aufsuchung der die Einzelgebiete verbindenden Fäden. In Wahrheit hängen diese selbstredend stets untereinander zusammen, da es eben einen rein mechanischen, rein thermischen, rein elektrischen usw. Vorgang überhaupt nicht gibt. Aber diese Zusammenhänge können erst dann klar erkannt werden, wenn zuvor das Einzelgebiet selbst soweit als möglich aufgehellt ist. Auf diesem beginnt nun die Forschung zunächst vor allem mit der Aufstellung quantitativer Maßstäbe für die betreffenden Erscheinungen. Hierfür bieten hauptsächlich die Entwicklung der Temperaturmessung und die der elektrischen Messungsmethoden außerordentlich lehrreiche Beispiele. Es wird auch im Interesse späterer Zusammenhänge nützlich sein, auf die erstere hier mit ein paar Worten einzugehen[35].

Die unmittelbare Sinnesempfindung gibt die Unterschiede von wärmer und kälter in einer kontinuierlichen Folge. Allein es treten sehr bald bei genauerer Beobachtung Fälle auf, in denen wir an diesem einfachsten Thermometer, unserer Haut, irre werden. So wenn wir z. B. feststellen, daß lauwarmes Wasser uns kalt erscheint, nachdem wir die Hand vorher in heißes Wasser getaucht haben. (Auf den hier entspringenden Begriff der Sinnestäuschung soll hier nicht weiter eingegangen werden.) Um zu einer verläßlicheren Feststellung der „Temperatur" zu kommen, benutzen wir nun ein die ganze messende Physik beherrschendes Prinzip, die Zuordnung zweier Veränderungsreihen zu einander. Nachdem wir nämlich festgestellt haben, daß entsprechend der zunächst durch unsere Hautnerven festgestellten Temperaturänderung gleichzeitig zahlreiche andere Eigenschaften des betr. Körpers, u. a. insbesondere sein Rauminhalt, sich ändern, wählen wir irgendeine möglichst genau meßbare derselben zum „Maßstab" der Temperatur. Hierbei geht es natürlich nicht ohne Willkür ab. In der üblichen Thermometrie ist es erstens schon willkürlich, daß man das Volum eines Körpers als Maßstab der Temperatur wählt, zweitens ist die Wahl des Körpers (der Thermometersubstanz) willkürlich und drittens steht es uns noch frei, in welcher Weise, d. h. nach welchem mathematischen Gesetze, wir die zu bestimmende Größe t (die Temperatur) mit der gemessenen Größe (v) verknüpfen wollen. Es ist durchaus nicht von vornherein gesagt, daß dies gerade ein lineares Gesetz (Proportionalität der Änderungen von t und v) sein müßte, wie das beim Quecksilberthermometer allgemein ohne weiteres als selbstverständlich angenommen wird.

In der weiteren Entwicklung der Thermometrie ist man bekanntlich schließlich auf Wasserstoff bzw. Helium als Thermometersubstanz gekommen, und es ist außerdem zweckmäßig, nun nicht mehr das Volum eines solchen Gasquantums bei konstantem Druck, sondern umgekehrt den Druck desselben bei konstantem Volum zum Maßstabe der Temperatur zu machen. Unter diesen Voraussetzungen

gilt dann das (Amontonssche) Gesetz: Der Druck in einem beliebigen Gasquantum steigt oder fällt bei Erwärmung oder Abkühlung zwischen zwei festen Temperaturen für alle Gase in gleicher Weise und zwar zwischen dem Gefrierpunkte und Siedepunkte des Wassers um $^{100}/_{273}$ desjenigen Betrages, den er beim Gefrierpunkte hat. Teilt man diesen Zwischenraum wie üblich in 100 gleiche Teile, so daß auf jeden Teil $^{1}/_{273}$ Druckzunahme kommt, so stimmt diese Skala sehr nahe mit der gewöhnlichen (Celsius-) Skala überein, d. h. die Volumzunahme des Quecksilbers ist nahe proportional jener Druckzunahme eines Gases. Denkt man sich die Skala nach unten in derselben Weise fortgesetzt, so würde der Druck des Gases bei 273° unter dem Gefrierpunkt gleich Null sein. Dieser (nur gedachte) Temperaturpunkt heißt der „absolute Nullpunkt" und die von ihm aus gezählte Temperatur ($T = t + 273$) die absolute Temperatur. In Wirklichkeit ist dies nur eine Fiktion schon deshalb, weil alle Gase schon oberhalb dieser Temperatur flüssig werden und jenes einfache Druckgesetz schon bei Annäherung an den Verflüssigungspunkt bei keinem Gase mehr gilt. Daß der absolute Nullpunkt aber überhaupt unerreichbar ist, ist der Inhalt des sog. Nernstschen Wärmetheorems. Man hat deshalb neuerdings vorgeschlagen[35], die Zuordnung der Temperaturen zu den Drucken in anderer Weise vorzunehmen und zwar so, daß dem absoluten Nullpunkt die Temperatur $= -\infty$ zukommt. Dann liegt schon in der Temperaturskala eingeschlossen, daß man sich diesem Punkte nur „asymptotisch" nähern kann. Willkürlich ist bei dem allen nun aber noch die Wahl des Temperaturschrittes (Grades). Soll auch für diesen noch ein „naturgemäßes", d. h. an die übrigen physikalischen Messungen angeschlossenes Maß gefunden werden, so muß man auf die im folgenden Kapitel zu erörternde Verwandlung von Wärme in Arbeit zurückgreifen. Hiermit aber würden wir dann die „reine" Wärmelehre schon verlassen haben und uns in weitere Zusammenhänge einlassen müssen, ebenso auch, wenn wir näher auf die Frage eingehen wollten, was denn nun der absolute Nullpunkt eigentlich ist (s. u.).

Ehe wir uns aber diesen weiteren Zusammenhängen zuwenden, sei noch eine andere Bemerkung hier eingeschaltet über die physikalischen Gesetze, welche nun auf Grund der erörterten Messungsmethoden in mathematischen Gleichungen formuliert werden. Es ist nach dem oben Gesagten selbstverständlich, daß solche Gesetze zunächst stets nur Annäherungen an die Wirklichkeit darstellen, die sich der letzteren aber fortschreitend immer besser anpassen. Dies liegt daran, daß wir bei der Zergliederung der Naturerscheinungen und ihrer Einteilung in die verschiedenen Gebiete stets zunächst mehr oder weniger willkürlich nur einzelne bestimmte Seiten der Erscheinungen herausgreifen können. So hat z. B. Galilei bei der Ermittlung seiner bekannten Fallgesetze zunächst den Einfluß der Reibung, des Luftwiderstandes und andere Faktoren „vernachlässigt", und damit zunächst allerdings eine nur gedachte

Bewegung an Stelle der wirklichen gesetzt. Erst auf Grund der so erhaltenen „ersten Näherung" gelingt es dann weiter, nun auch jene anderen Faktoren der Reihe nach mit zu erfassen und so fortschreitend ein immer genaueres Bild der Wirklichkeit zu erzielen. Für die Anhänger der „Philosophie des Als ob" und verwandter idealistisch gerichteter Erkenntnistheorien liegt hierin ein besonders beliebtes Beweisstück für die lediglich ideale Natur aller unserer „Naturgesetze". Demgegenüber wird der Realist aber etwa folgendes einwenden können: Die fraglichen Gesetze sind zwar nur Näherungen, aber sie sind doch nun auch Näherungen, d. h. man kommt mit ihnen tatsächlich der Wirklichkeit näher, es liegt also keineswegs so, daß man mit ihnen sich nur ewig sozusagen in immer gleichem Abstand um die Wirklichkeit herum bewegte. Es ist ferner auch keineswegs so, daß dieses Vernachlässigen rein willkürlich und subjektiv geschähe. Wenn Galilei beispielsweise bei seinen Fallgesetzen in erster Näherung den Luftwiderstand unberücksichtigt läßt, so hat er doch diesen durchaus nicht etwa zwecks Vereinfachung des Fallproblems ersonnen, vielmehr ist der Luftwiderstand eine ganz unabhängig von allen Fallversuchen bei jeder Relativbewegung zwischen irgendwelchen Körpern und der Luft, z. B. beim Winde, auftretende Erscheinung, die sich unmittelbar jedem Beobachter aufdrängt. Anders gesagt: die Zerlegung der Naturerscheinungen in die einzelnen Faktoren ist keineswegs, wie es von der rein idealistischen Erkenntnistheorie sehr oft darzustellen beliebt wird, eine rein subjektive Sache, sondern auch sie wird uns gerade so und nicht anders von der Natur selber aufgedrängt. Es hängt mit dieser Frage aufs innigste ein Problem zusammen, das schon seit Platos Zeit die Philosophie beschäftigt und im Mittelalter seine schärfste Formulierung in dem bekannten „Universalienstreit" gefunden hat, das Problem, ob den vom Menschen geschaffenen allgemeinen Begriffen, Gesetzen, „Ideen" usw. etwas Wirkliches zugrunde liege, oder ob sie lediglich in der idealen Sphäre existierten, während die Wirklichkeit nur lauter einzelne Fälle kennt. Die allgemeine Strömung der positivistischen und der neukantischen Erkenntnistheorie verneint die Frage, der neuere kritische Realismus dagegen muß sie bejahen. Wir wollen als Beispiel das Brechungsgesetz betrachten $\left(\sin \alpha / \sin \beta = n\right)$. Der Idealist und der Positivist werden sagen: In der Natur gibt es nur Lichtstrahlen, Wasser und Luft, und zwar nur

dieses Wasser hier, diese Luft, diesen Lichtstrahl. (Streng genommen sind auch dies „Gedankensymbole für Empfindungskomplexe von relativer Stabilität".) Jedenfalls sind Winkel, trigonometrische Funktionen und dergleichen rein ideale Gebilde, die wir in die Dinge hineintragen, um sie dadurch für uns übersichtlich zu machen. Es sei so. Aber eines bleibt uns der Kritikus schuldig, die Antwort nämlich auf die Frage, warum denn nun, wenn ich alle diese Begriffe gebildet habe, die Beobachtungen von tausend Einzelfällen mir gerade die Formulierung $\sin\alpha/\sin\beta = n$ aufzwingen. Warum nicht α/β oder $\operatorname{tg}\alpha/\operatorname{tg}\beta$? Man mag sich drehen, wie man will, es liegt hier gerade in der Gesamtheit aller Fälle, nicht dem Einzelfall, ein Objektives vor, das wir in jener Formel zu fassen suchen. Wir mögen noch so viel Fiktionen, Typisierungen, Idealisierungen usw. bei dieser unsererErkenntnistätigkeitnachweisen, es bleibtein objektiverRest, dernicht aus dem Geiste, sondern aus der Wirklichkeit stammt, und gerade um diesen objektiven Sachverhalt allein ist es uns zu tun, ihm suchen wir uns durch fortgesetzte Analyse und Synthese immer mehr zu nähern. Das Entsprechende gilt aber auch schon von der einfachsten Begriffsbildung. Man hat oft genug gesagt, in der Natur gäbe es nur einzelne Eichen, nicht den Begriff Eiche. So einleuchtend dieser Satz erscheint, so falsch ist er. Wenn es in der Natur nicht so wäre, daß hunderte von Bäumen mit rauher Rinde, gelappten Blättern usw. sich von hundert anderen aufs deutlichste durch diese stets wiederkehrenden gemeinsamen Merkmale und außerdem die Vererbbarkeit dieser Merkmale abhöben, so würden wir sicherlich aus uns selbst niemals auf den Begriff „Eiche" verfallen sein. Wenn es also richtig ist, daß wir Begriffe bilden, so ist es doch ebenso unbezweifelbar, daß die Natur in fast allen derartigen Fällen unser Begriffsbildungsvermögen gerade in dieser und keiner anderen Weise zu arbeiten zwingt, und insofern ist es vollständig berechtigt, zu sagen, daß auch jenem „Begriff" Eiche etwas durchaus Wirkliches, nämlich die wirkliche Übereinstimmung hunderter und tausender von bestimmten aus den anderen sofort kenntlichen Bäumen entspricht. Man darf hiergegen auch nicht die Tatsache anführen, daß bei jedem Allgemeinbegriff Fälle angeführt werden können, deren Unterordnung unter ihn zweifelhaft ist, anders gesagt, daß sich der Umfang eines empirischen Begriffs nie mit absoluter Schärfe abgrenzen läßt. Die Natur ist freilich nicht so beschaffen, daß sich alles

streng in einzelne Kategorien und Rubriken scheiden ließe, πάντα ῥεῖ, natura non facit saltus; aber sie ist noch viel weniger ein unterschiedsloser allgemeiner Mischmasch von lauter fließenden Übergängen, in denen nur durch subjektive Willkür Grenzen gezogen werden könnten. Sie ist vielmehr ein individualisiertes Kontinuum, dem Meere vergleichbar, auf dem jede Welle, obwohl sie ohne scharfe Grenze im Ganzen verfließt, sich doch als einzelne eigenartige, deutlich erkennbare Bildung abhebt, oder der Erdoberfläche mit ihren Bergen und Ebenen, die auch ohne scharfe Grenzen ineinander übergehen, ohne deshalb aufzuhören, deutlich erkennbare Individuen zu sein. Ich muß hier auf einen ganz allgemeinen Fehler, der auch noch in der heutigen Philosophie vielfach eine ausschlaggebende Rolle spielt, hinweisen. Wir haben es noch immer nicht gelernt, obwohl drei Jahrhunderte naturwissenschaftlicher Forschung uns darüber hätten belehren können, daß Sein und Erkennen, Wirklichkeit und Wissenschaft weder zwei parallelen noch zwei sich schneidenden Linien vergleichbar sind, daß sie sich vielmehr einander asymptotisch nähern. Diese Möglichkeit übersehen sowohl die Rationalisten, die von Plato bis Hegel geglaubt haben, die unendliche Natur in ein System von Ideen restlos auflösen zu können, als die modernen idealistischen Erkenntnistheoretiker, die meinen, daß der „Verstand der Natur die Gesetze vorschreibe", die also das Rationale lediglich in das Innere des Menschen verlegen. „Die richtige Auffassung, sagt E. Zillsel in seiner trefflichen Studie über das vorliegende Problem[26], scheint in der Mitte zu liegen. Die Welt bleibt zwar immer etwas Schwankendes, zum Teil ineinander Verfließendes, diese Schwankungen aber kompensieren einander gegenseitig immer noch, diese Unbestimmtheiten sind so glücklich verteilt, daß wir Menschen in der Welt trotz aller Vagheiten ganz präzise Beziehungen feststellen können, freilich diese Feststellungen in infinitum zu ergänzen haben." Und an anderer Stelle: „Wir leben also in einer Welt, in der man Umstände vernachlässigen darf und doch etwas weiß." Wir werden an anderer Stelle noch einmal Gelegenheit haben, auf die weittragenden Folgerungen dieser Einsicht für unsere gesamte Weltanschauung zurückzukommen (S. 275, 371). Kehren wir nunmehr zu unserem physikalischen Gedankengang zurück. Der entscheidende Schritt zum „vereinten Angriff" nach dem jahrzehntelangen „getrennten Marschieren" geschah um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts durch Mayer, Helm-

h o l t z und J o u l e (1842—47). Es ist die Einsicht in die Gleichwertigkeit (Verwandelbarkeit) der verschiedenen Energieformen untereinander.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Das klassische Beispiel Mayers, die gegenseitigen Beziehungen zwischen den mechanischen und den Wärmeerscheinungen ist auch heute noch am meisten geeignet, die Sache klar zu machen.

Der Begriff der „W ä r m e m e n g e" ergibt sich in der Physik auf Grund etwa folgender Überlegungen und Erfahrungen: Der Temperaturausgleich zwischen ungleich warmen Körpern macht durchaus den Eindruck, als ob von dem heißen Körper etwas auf den kälteren übergehe. Man sagt deshalb auch im täglichen Leben, es gehe z. B. von einem heißen Ofen die Wärme auf das aufgesetzte Gefäß über Hierdurch bildet sich nun leicht auch die quantitative Vorstellung, daß dies bei gleichbleibender Temperatur des Ofens in gleichen Zeiten gleich viel sei, und wenn wir beobachten, daß es bei einem größeren Quantum Wasser länger dauert, als bei einem kleineren, bis es, auf dem gleichen Ofen stehend, die gleiche Temperaturerhöhung erfährt, so werden wir ebenso unmittelbar zu der Vorstellung geführt, daß zur Erwärmung des größeren Quantums eine größere „Wärmemenge" nötig sei. Wir definieren nun als Wärmemenge 1 oder 1 Kalorie (cal), diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 g Wasser um 1° zu erwärmen. Zur Erwärmung etwa von 20 g Wasser um 1° sind dann 20 cal nötig usf. Andererseits aber zeigt die Erfahrung, daß man unter den gleichen Umständen statt dessen auch etwa 4 g Wasser um 5° oder 10 g um 2° oder 1 g um 20° erwärmt bekommt (angenähert). Daher ist allgemein die zur Erwärmung von m Gramm Wasser um t° nötige Wärmemenge gleich m t cal zu setzen. Ein Gramm eines anderen Stoffes gebraucht im allgemeinen eine andere (meist kleinere) Wärmemenge zur Erwärmung um 1°, 1 g Kupfer z. B. 0,1 cal. Diese Zahl, die also fast immer ein echter Bruch ist, heißt die s p e z i f i s c h e W ä r m e d e s b e t r. S t o f f e s und wird mit c bezeichnet. Zur Erwärmung von m Gramm des Stoffes um t° sind dann m c t cal notwendig.

Mischt man nun beliebige verschieden warme Körper in irgend einem nach außen wärmedicht abgeschlossenen Gefäß durcheinander, so gilt das R i c h - m a n n - B l a c k s c h e Mischungsgesetz: D i e g e s a m t e i n d e m K ö r - p e r v o r h a n d e n e W ä r m e m e n g e b l e i b t b e i m T e m p e r a t u r - a u s g l e i c h u n g e ä n d e r t. Was also die heißen Körper an Wärmemenge (mct) abgeben, das gewinnen die kälteren. Nach dieser Regel, die sich leicht in eine mathematische Gleichung bringen läßt, läßt sich bei Kenntnis der Massen, der spezif. Wärmen und der Anfangstemperaturen die Mischuugstemperatur im voraus berechnen. Wir haben die ganze Regel aber hier nur deshalb angeführt, weil sie am klarsten zum Ausdruck bringt, daß es eine gewisse Größe, die „Wärmemenge" gibt, die bei allen „rein thermischen" Vorgängen konstant bleibt.

Solche Vorgänge sind nun freilich, wie wir schon oben sagten, streng genommen niemals vorhanden, und uns interessieren nunmehr die zwischen den thermischen und den mechanischen Vorgängen vorhandenen Wechselbeziehungen. Denken wir etwa an das Feuermachen der Wilden oder an eine Dampfmaschine. Im ersteren Falle wird offenbar durch mechanische Anstrengung Wärme erzeugt, im zweiten Falle erzeugt umgekehrt die Wärme mechanische Kraftwirkungen.

Hier setzt nun die große Entdeckung Robert Mayers ein. Wir sahen oben, daß bei rein mechanischen Vorgängen, wie z. B. den Pendelschwingungen, theoretisch ein fortwährender Umsatz von Zustandsenergie in Bewegungsenergie und umgekehrt erfolgt, der endlos dauern würde, wenn keine Hindernisse da wären. Tatsächlich sind ja nun aber solche Hindernisse stets vorhanden und bringen über kurz oder lang jede derartige Bewegung zum Stillstand, d. h. die Gesamtenergie bleibt nicht, wie es der oben angeführte Leibnizsche Satz fordert, konstant, sondern nimmt auf Null ab. Dafür aber tritt nun, wie zuerst Mayer erkannt hatte, in diesen wie in allen analogen Fällen eine ganz bestimmte Wärmemenge auf. Umgekehrt dagegen entschwindet z. B. in einer Dampfmaschine eine gewisse Wärmemenge, d. h. wird dem heißeren Körper entzogen, ohne sich an dem kälteren wiederzufinden, und dafür tritt dann ein entsprechendes Quantum mechanischer Energie auf. Wärmemenge und mechanische Energie (Arbeit) sind also miteinander gleichwertig, oder ineinander verwandelbar. Nach neueren Bestimmungen ist 1 kcal = 1000 cal gleichwertig mit einer Arbeit von 426 Meterkilogramm, d. h. der Arbeit, die man leistet, wenn man 426 kg 1 m hoch hebt.

Aber wir dürfen hierbei nun nicht stehen bleiben. Schon Mayer hat erkannt und Helmholtz hat es zuerst klar ausgesprochen, daß dieses Äquivalenzprinzip ein Grundgesetz der gesamten Physik ist, daß nicht nur Wärme- und mechanische Energie ihm gehorchen, sondern daß es für jedes Gebiet der Physik eine Größe gibt, die mit mechanischer Arbeit und Wärme und all den anderen Größen dieser Art gleichwertig ist. In der Elektrizitätslehre ist es beispielsweise das Produkt aus Elektrizitätsmenge und Spannung, das in einer solchen Äquivalenzbeziehung zur mechanischen Arbeit steht. Alle diese Größen nennt man deshalb mit dem gemeinsamen Namen[37] „Energie" (elektrische, magnetische, chemische, Strahlungs- usw. Energie) und so kann man das allgemeine Gesetz dann aussprechen:

Bei jedem physikalisch-chemischen Vorgang bleibt die Gesamtenergie, das ist die Summe aller einzelnen Arten von Energien, unverändert. Das ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie, kurzweg der „Energiesatz" genannt. Er besagt, daß, wo immer irgendeine Art von Energie scheinbar verschwindet, dafür irgendeine andere Art von Energie in entsprechender Menge auftritt. Jeder Naturvorgang ist eine Energieverwandlung, niemals aber wird Energie ohne Gegenwert erzeugt oder vernichtet.

Durch diese Erkenntnis ist, wie schon zu Anfang angedeutet wurde, ein Jahrhunderte alter philosophischer Gedanke auf einen genauen Ausdruck gebracht worden, der Gedanke, daß das Geschehen, das „Sich abspielen" selbst eine Art von quantitativ meßbarer Größe ist, die in deutlicher Analogie zu der Quantität des Stoffes, der Materie steht und wie diese dem Erhaltungsgesetz unterliegt. Was Descartes in verschwommenen Umrissen erkannte, das hat vor allem Helmholtz in klare mathematisch faßbare Maßbegriffe gebracht, ebenso wie Lavoisier, indem er das Gesetz von der Erhaltung der Masse durch Versuche bestätigte. damit einen exakten Ausdruck für die instinktive Erkenntnis gab, daß der „Stoff" der Welt weder einer Vermehrung noch einer Verminderung für uns fähig ist. Man darf freilich nicht glauben, daß diese Erkenntnisse so selbstverständlich sind, wie sie uns heute so leicht erscheinen. Die Alten fanden nichts Anstößiges in dem Gedanken, daß Materie verschwindet. etwa beim Verbrennen einer Kerze, oder daß die vis impressa eines bewegten Körpers einfach nach einer gewissen Zeit aufgezehrt sei, und noch heute denkt sicherlich der naive Verstand meist ebenso. Es ist darum durchaus unangebracht, über jene älteren philosophischen Spekulationen, z. B. des Descartes und seiner Nachfolger zu lächeln, weil sie mit vagen Allgemeinheiten operierten, ohne bestimmte experimentell faßbare Maßbegriffe anzuwenden. Nur auf dem durch ihre Gedankenarbeit vorbereiteten Boden konnte die endliche Frucht der genauen Formulierungen jener beiden Erhaltungsgesetze, des Massengesetzes und des Energiegesetzes, reifen[38].

Doch lassen wir das Geschichtliche hier außer Betracht und fragen nach der Bedeutung des gewonnenen Resultates für unsere gesamte Naturerkenntnis. Es gibt bekanntlich heute eine ganze naturphilosophische Schule, die sich Energetiker nennen und deren Führer Wilh. Ostwald ist. Sie betrachten den Energiesatz nicht nur als ein allge-

meines Naturgesetz, sondern geradezu als das Naturgesetz überhaupt, sie machen die Energie nach Lipps' treffendem Ausdruck „zum Pferd in der Weltmaschine", zum letzten Grund alles Seins. Alles ist nach ihnen Energie, nichts als Energie. Was wir etwa mit einem Pfund Dynamit kaufen, ist, sagen sie, ja nicht die darin enthaltene Menge Stoff (Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff), sondern die darin sozusagen eingezwängte Energiemenge. Ein Körnchen davon ist wie eine gespannte Feder oder ein elektrischer Akkumulator ein Vorratsbehälter für eine gewisse Energiemenge, die wir daraus zu geeigneter Zeit am geeigneten Ort entnehmen. Was der Verbraucher an die elektrische Zentrale bezahlt, ist elektrische, dem Draht entnommene Energie, was ich mit den Nahrungsmitteln einkaufe, ist die chemische Energie derselben, die sich in meinem Körper in Wärme und andere Energiearten verwandeln kann usw. Kurz, wie man die Sache auch betrachten mag, alles, was uns wertvoll erscheint, ist im letzten Grunde immer die in dem betreffenden Gegenstand steckende Energie. Ja wir können sogar hinzufügen, daß alles, was wir überhaupt wahrnehmen können, Energie ist. Was heißt denn z. B. ich sehe ein Stück Eis? Es glänzt, d. h. es wirft das Licht zurück — Strahlungsenergie bestimmter Art kommt in mein Auge. Es ist kalt, d. h., wenn ich meine Haut daran halte, habe ich das Kältegefühl — Wärmeenergie strömt aus meiner Haut in das Stück Eis usw. Materie ist — nach Ostwald — nichts als eine gewisse Verbindung von Energien und Energieumsetzungen, die einen gewissen Raumteil erfüllt. Alles ist Energie. Sofern man überhaupt von einer Wirklichkeit sprechen kann, ist das Wirkliche κατ' ἐξοχήν die Energie. So sagen die Energetiker[38]. Indessen ganz so einfach ist die Sache denn doch nicht, wie sie hier erscheint. Die Pan-Energetiker haben nämlich das eine vor allem nicht bedacht, daß sie mit ihrem Grundbegriffe „Energie" eine vorhandene Schwierigkeit übersprungen haben, die es erst zu lösen gilt. Ich will ihnen das nicht zum Vorwurf machen, was die meisten heutigen Kritiker der energetischen Naturphilosophie (auch Lipps) gegen sie eingewendet haben, daß nämlich dieser ihr Grundbegriff ja selber erst das Produkt einer langen und abstrakten Begriffsentwicklung war, zu der die Menschheit fast zwei Jahrtausende gebraucht hat. Die so kritisieren, tun das vom Boden der modernen positivistischen (s. oben) Erkenntnistheorie aus, nach der das eigentlich Reale die „Elemente" in Machs Sinne, d. h. die einfachsten (psychischen) Empfindungsdaten sind. Da wir oben diese Erkenntnistheorie ablehnten, müssen wir auch diese Kritik

hier ablehnen. Vielmehr ist der Umstand, daß die Energie das Produkt einer so langen schwierigen Begriffsentwicklung war, gerade ein Beweis dafür, daß sie den Grundlagen der Wirklichkeit schon erheblich näher steht, als die unmittelbaren Daten der Erfahrung. Denn in der (realistisch aufgefaßten) Physik geht der Weg zur Erkenntnis dessen, „was die Welt im Innersten zusammenhält", im großen und ganzen rückwärts von den Erscheinungen zu den Gründen der Erscheinungen, vom Schein zum Sein, von den Folgerungen hinauf zu den Axiomen. Das wäre also kein Grund dagegen, im Energiesatz das Grundgesetz der Physik zu sehen. Aber einen anderen, in der Sache selbst liegenden Einwand müssen wir erheben. Die Energetiker vergessen, daß sie mit dem Worte Energie eine Einheit vorwegnehmen, die uns in Wahrheit keineswegs überall, sondern nur in einzelnen Fällen durchsichtig ist. Wir kennen zunächst nur verschiedenerlei Arten von Energien und wissen, daß diese miteinander in der Äquivalenzbeziehung stehen. Es ist zulässig und sogar sehr zweckmäßig, diese Äquivalenz durch das gemeinsame Wort „Energie" auszudrücken, es ist auch zweckmäßig, weiter alle die fraglichen Größen nach solchem Maße zu messen, daß die einander äquivalenten Mengen nicht nur proportional, sondern gleich sind, d. h. dieselben Maßzahlen erhalten. Nur sollen wir uns nicht einbilden, mit dieser Einheit der Messung nun auch schon eine Einsicht in die wirkliche Einheit aller dieser Arten von Energiegrößen gewonnen zu haben. Schon der Ausdruck der „Energieverwandlung" ist hier leicht irreführend. Ganz genau darf es nur heißen: Für ein verschwindendes Quantum der Energieart E_1 tritt ein (maßzahlengleiches) Quantum der Art E_2 auf ($E_1 + E_2$ ist konstant). Will man dies mit dem Wort „Verwandlung" bezeichnen, so ist an sich nichts dagegen einzuwenden. Nur soll man sich hüten, dann aus diesem Wort einen anderen, viel weitergehenden Begriff ohne nähere Begründung in die Sache hineinzutragen, nämlich den, daß „Verwandlung" die Umwandlung, Umformung eines und desselben Dinges von der einen Form in die andere bezeichnet, wobei das betreffende Ding aber als mit sich selbst identisch bleibend gefaßt wird. Kurz man darf den Gedanken der inneren Einheit aller der verschiedenen Energiearten hier nicht ohne weiteres vorwegnehmen. Dieser Gedanke ist vielleicht eine Forderung aus dem Energiesatz, aber nicht sein Ergebnis. Die fragliche Einheit muß erst noch gesucht werden; solange wir sie nicht durchschauen, d. h. solange wir nicht wirklich die eine Energieart auf die andere oder beide auf ein Drittes zurückführen können, so lange

bleibt sie selbst ein Problem. Was aber selbst noch ein Problem ist, kann nicht als definitive Lösung des Weltproblems hingestellt werden. Ein Problem ist es z. B. vorläufig, wie es bei der „Verwandlung“ der elektrischen Energie in chemische Energie und umgekehrt eigentlich zugeht. Gerade eben fangen wir an, den Schleier, der über diesen elektrochemischen Vorgängen liegt, ein wenig zu lüften. Kann es uns da irgend etwas nützen, wenn die Energetiker uns ruhig lächelnd erklären: Nun, es ist halt alles Energie, das eine Mal in der elektrischen, das andere Mal in der chemischen Form? Das ist gerade so, wie wenn S p i n o z a uns den unbegreiflichen Gegensatz von Körperlichem und Seelischem durch die beiden „Attribute“ seiner Substanz erklären zu können meint, ohne zu bedenken, daß er dem Problem damit nur einen anderen Namen gegeben hat.

Auf ein zweites Bedenken gegen die Energetik als Naturphilosophie, nämlich die Zusammengesetztheit jeder Energieart aus zwei Faktoren, dem sogenannten Kapazitäts- und Intensitätsfaktor (z. B. Masse mal Geschwindigkeitsquadrat) will ich hier nicht näher eingehen. Das Angeführte wird hoffentlich genügen, um zu zeigen, daß der Energiesatz nicht ohne weiteres als das Grundgesetz der Physik überhaupt ausgegeben werden darf[39]. — Um so klarer muß auf der anderen Seite betont werden, daß dieser Satz doch bei alledem uns einen außerordentlich wichtigen Gedanken geradezu aufzwingt, nämlich den Gedanken an eine Einheit hinter den verschiedenen Arten der Energien, nur daß d i e s e E i n h e i t, wie erwähnt, h e u t e n o c h a l s P r o b l e m u n d n i c h t a l s E r g e b n i s z u f a s s e n i s t. Jede besondere Art von Energieverwandlung ist in dem S. 40 erörterten Sinne eine „brutale Tatsache“, die die Erklärung herausfordert. Wir können uns nicht mit der einfachen Feststellung dessen begnügen, daß beispielsweise verschwindende elektrische Energie in der Glühlampe in Wärme übergeht, sondern wir müssen wissen, w i e e s d a b e i z u g e h t. Das ist nur möglich, wenn es uns gelingt, eine Vorstellung von den elektrischen Vorgängen einerseits, der Wärme andererseits zu entwickeln, die jene Wechselbeziehung als notwendige Folge zu deduzieren gestattet. Und so überall. Der Energiesatz ist nur das allgemeinste Beispiel für eine solche, eine Erklärung herausfordernde Beziehung, die vorläufig rein tatsächlich festgestellt ist. Wir mögen in die Physik hineingreifen, wo wir wollen, — überall stoßen wir auf derartige empirische Gesetze, deren Grund uns einstweilen dunkel ist, die aber in sich selbst die Nötigung tragen, nach einer Erklärung für ihr Bestehen zu suchen. Ehe wir indessen

den hieraus sich unmittelbar ergebenden Gedanken an eine Einheit aller Naturkräfte weiter verfolgen, wollen wir diejenigen zwei Kapitel der modernen Physik, in denen diese vereinheitlichende Tendenz am deutlichsten zum Ausdruck kommt, ein wenig näher betrachten. Das sind die „kinetische Wärmetheorie" und die „elektromagnetische Lichttheorie".

Die kinetische Wärmetheorie

wurde schon 1738 von Daniel Bernouilli ausgesprochen, dann aber wieder fallen gelassen. Ihre eigentliche Begründung erfolgte in den Jahren 1856/57 durch Krönig und Clausius, ausgebaut ist sie dann besonders von Maxwell, van der Waals, Boltzmann und in neuerer Zeit von Planck. Da es sich dabei fast überall um schwierigere mathematische Herleitungen handelt, so müssen wir uns hier mit einer ziemlich oberflächlichen Skizze begnügen, in der leider dann gerade die überraschendsten und schönsten Erfolge der Theorie nicht recht zum Ausdruck kommen können. Das wolle der Leser im folgenden sich gegenwärtig halten.

Der Grundgedanke der kinetischen Wärmetheorie ist die schon S. 14 kurz gestreifte Hypothese, daß das, was wir Wärme nennen und mittels der Haut empfinden, nichts anderes ist, als die kinetische Energie der sich unausgesetzt bewegenden Moleküle der Körper. Genauer muß es heißen: Unsere Haut empfindet es als Wärme, wenn die durchschnittliche Energie der äußeren Moleküle (etwa der Luft) größer ist, als die der Hautmoleküle, so daß bei ihren fortwährenden Zusammenstößen im Durchschnitt die äußeren Moleküle mehr Energie an die inneren abgeben, als diese umgekehrt an jene. — Vom Standpunkte der Erkenntnistheorie aus ist diese Hypothese an sich um nichts wunderbarer, als die von niemand bezweifelte Tatsache, daß es die schwingende Bewegung der Luft ist, die uns, indem sie das Ohr erregt, die Tonempfindung veranlaßt. — Im allgemeinen haben nach der Hypothese alle Moleküle eines Körpers ungleiche Geschwindigkeiten, maßgebend für das, was wir Temperatur nennen, ist die durchschnittliche Geschwindigkeit aller Moleküle des betrachteten Bereichs, genauer der Durchschnitt der Geschwindigkeitsquadrate, da wir die (absolute) Temperatur dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional annehmen müssen. Der absolute Nullpunkt der Temperatur (s. S. 67) ist die vollständige Ruhe der Moleküle. Zwischen zwei verschiedenen Körpern oder zwei Teilen desselben Körpers besteht ein „dynamisches" Gleichgewicht der Temperatur dann, wenn

an der Grenzfläche ebensoviel kinetische Energie in der einen Richtung, wie in der anderen Richtung übertragen wird. Erhitzt man einen Teil eines Körpers, so heißt das, man führt den dort befindlichen Molekülen kinetische Energie zu, die sich alsbald innerhalb des Körpers durch die fortwährenden Bewegungen weiter verteilt. Das ist dann der Wärmeausgleich durch Leitung. Es wird indessen keineswegs die gesamte zugeführte Energie sich in der Vergrößerung der kinetischen Energie der Moleküle, d. h. in der Temperaturerhöhung, wiederfinden. Vielmehr geht stets ein mehr oder minder großer Bruchteil der Energiezufuhr drauf, der sich in „innere Arbeiten" umwandelt, Arbeiten, die erstens in der Überwindung der von den Molekülen aufeinander ausgeübten Kräfte, zweitens in intramolekularen Veränderungen bestehen können. Die Unmöglichkeit, diese inneren Arbeiten näher zu bestimmen und exakt in die Rechnung einzusetzen, ist der Grund für manche Mißerfolge der Theorie. Besonders störend trat dies in Erscheinung bei den festen Körpern, wo die inneren (Molekular-) Kräfte offenbar am stärksten wirken. Die festen Körper hatten sich deshalb bis vor kurzem fast ganz der Theorie entzogen. Neuerdings ist indessen auch für sie durch die weiter unten zu besprechende Plancksche Theorie ein erheblicher Fortschritt erzielt worden[40]. Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei den Gasen, wo die Moleküle so gut wie völlig frei ihre Bahn zurücklegen, unter ihnen sind wieder besonders einfach die einatomigen Gase (Helium u. a., s. S. 22). Bei diesen dürfen wir daher die beste Übereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung erwarten. In der Tat trifft diese Erwartung in ausgezeichnetstem Maße zu, wie u. a. der am Helium erhaltene Wert der Loschmidtschen Zahl zeigt. Helium kann als nahezu „ideales Gas" betrachtet werden. Doch gelingt es auch für die übrigen Gase, fast sämtliche Gesetze der Wärmeleitung, Diffusion, inneren Reibung usw. usw. in guter Übereinstimmung mit der Erfahrung aus der Theorie mathematisch zu deduzieren, und selbst viele Erscheinungen des Übergangs zwischen Gas- und Flüssigkeitszustand lassen sich befriedigend durch die kinetische Hypothese erklären. Von den vielen zum Teil höchst überraschenden Einzelheiten dieser Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment, sowie den auch nicht seltenen Inkongruenzen müssen wir hier absehen. Das Gesamtbild ist dies, daß die Theorie im wesentlichen richtige Resultate liefert, und daß die Abweichungen, die in den verwickelten Fällen auftreten, sich ungezwungen aus unserer Unkenntnis über die „inneren Arbeiten" erklären, durch die

es bedingt wird, daß man, will man überhaupt ein Resultat erhalten, ziemlich willkürliche Annahmen oder Vernachlässigungen einführen muß. Diesen, nicht der Hypothese als solcher, muß dann auch gerechter Weise die Schuld an etwaigen Mißerfolgen zugeschoben werden[40].

Trotz alledem würde nun von einer annähernden Gewißheit der Richtigkeit unserer Grundannahme gar keine Rede sein können, die kinetische Hypothese müßte sich vielmehr noch lange mit der Rolle einer mäßig wahrscheinlichen Vermutung, wenn nicht gar eines „Bildes" begnügen, wenn nicht eine Erscheinung bekannt wäre, die zusammengehalten mit den Resultaten der Theorie wohl als direkter Experimentalbeweis der kinetischen Hypothese angesprochen werden muß. Diese in ihrer grundsätzlichen Bedeutung merkwürdig lange unterschätzte Erscheinung ist die sogenannte Brownsche Bewegung, ein Phänomen, das schon 1827 von dem Engländer Brown entdeckt, aber erst heute genauer untersucht worden ist. Übrigens kann es jeder Besitzer eines guten Mikroskops leicht wahrnehmen. Bringt man nämlich unter das Mikroskop eine trübe Flüssigkeit, eine Suspension oder Emulsion der oben (S. 18) gekennzeichneten Art, deren Teilchen hinreichend klein, aber deutlich genug sichtbar sind (verdünnte Milch, Gummiguttemulsion, auch kolloidale Goldlösungen u. a. mehr), so sieht man die suspendierten Teilchen unausgesetzt zitternde Bewegungen ausführen, so daß der Eindruck eines fortwährenden Flimmerns

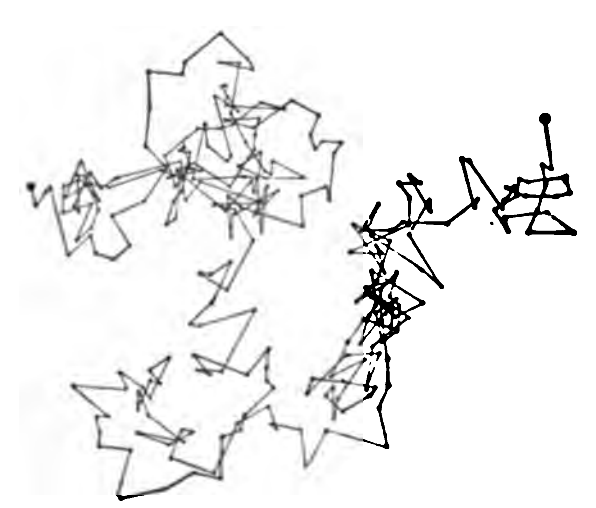


Abb. 4. Brownsche Bewegung.

und Kribbelns entsteht. Bei sehr starken Vergrößerungen, besonders mit Hilfe des Ultramikroskops sieht man deutlich die Bahn des einzelnen Teilchens als einen vielverschlungenen, ganz unregelmäßigen „Zickzackkurs", den man sich am besten veranschaulicht, wenn man nach Art der Kinder mit dem Bleistift auf dem Papier einen beliebigen Linienzug ineinander kritzelt. Neuerdings sind diese Beobachtungen vielfach photographisch und sogar kinematographisch fixiert worden (Abb. 4). An ihrer Realität besteht somit keinerlei Zweifel. Für den Vergleich der Beobachtungen mit mathematischen Theorien empfehlen sich statt der genannten flüssigen Emulsionen usw. öfters Suspensionen feiner Staubteilchen, oder Tröpfchen in Gasen, an denen die Brownsche Bewegung ebenfalls deutlich wahrzunehmen ist. So haben die neueren Forscher, die diese Erscheinung untersucht haben (Perrin, Svedberg, Seddig u. a.) vielfach Suspensionen von Zinnober- oder Goldstäubchen in Luft benutzt. — Die Theorie der Brownschen Bewegung ist hauptsächlich von Einstein und v. Smoluchowski aus der kinetischen Wärmetheorie für Gase mathematisch hergeleitet worden. Nach letzterer würden ja die suspendierten Teilchen durch die dagegen prallenden Moleküle in ähnlicher Weise in Bewegung versetzt werden müssen, wie wenn man etwa in einen Mückenschwarm kleine Korkkügelchen hineinhängen würde (und die Mücken sich notabene nicht daran kehrten). Diese theoretischen Deduktionen nun sind durch die mühevollen Experimentaluntersuchungen der genannten Forscher, vor allem Perrins, auf das vollständigste bestätigt, wobei sich dann übrigens auch ein neuer Weg zur Bestimmung der Loschmidtschen Zahl (s. S. 19, 23) ergab. Man wird sagen, daß damit aber doch nicht die wirkliche Bewegung der Moleküle selber auch bewiesen sei. Es könne ja so sein, aber schließlich sei doch eine andere Erklärung der Brownschen Bewegung noch nicht ausgeschlossen. Die suspendierten Körperchen sind doch immerhin wahre Ungeheuer von Größe gegen die Moleküle. — Das ist richtig. Allein wir müssen uns an das erinnern, was wir S. 19 im Anschluß an die Ergebnisse der modernen Kolloidchemie ausführten. Wir müssen bedenken, daß von jenen Suspensionen und Emulsionen und kolloidalen Lösungen, deren Teilchen mit Mikroskop und Ultramikroskop noch eben sichtbar sind, eine vollkommen kontinuierliche Reihe hinüberführt zu den sogenannten „echten Lösungen", in denen der gelöste Stoff in wirkliche Moleküle zerteilt ist. Es ist ganz unmöglich, die Brownsche Bewegung bei kleiner und kleiner werdenden Teilchen plötz-

lich aufhören zu lassen. Im Gegenteil: Soweit die Sache sich verfolgen läßt, nimmt die Bewegung ganz im Sinne der Theorie mit abnehmender Teilchengröße immer zu. Das Kontinuitätsprinzip verlangt daher, daß wir die Bewegung auch da als vorhanden annehmen, wo wir sie bei der Kleinheit der Teilchen nicht mehr erkennen können, und damit sind wir bei der wirklichen Bewegung der Moleküle angelangt. Mit Recht sagt deshalb Seddig am Schluß seines Referats über seine schönen Untersuchungen[41]: „Es dürfen diese messenden Versuche wohl als eine direkte experimentelle Bestätigung dafür gelten, daß die jetzt fast allgemein angenommenen Anschauungen einer kinetischen Wärmetheorie zu Recht bestehen. Die Brownsche Bewegung gibt, dem Auge direkt erkennbar, ein vergröbertes Bild jener Wärmebewegung der Moleküle, deren Folge sie ist."

Wir wollen an dieser Stelle eine kleine Abschweifung einschalten, mit Rücksicht auf ein Gesetz, das wir später, in anderem Zusammenhange wieder erwähnen müssen. Das ist der sogenannte Entropiesatz oder der „zweite Hauptsatz der Wärmetheorie", (der erste ist der Energiesatz). Wir können dabei zweckmäßig an die Brownsche Bewegung anknüpfen. Durch vielerlei sorgfältige Versuche ist erwiesen, daß die Brownsche Bewegung mit stets unverminderter (durchschnittlicher) Stärke andauert, so lange die Temperatur der beobachteten Suspension nur konstant bleibt. Sie stellt also ein wahres Perpetuum mobile vor. — Bekanntlich versuchen sich heute nur noch solche „Erfinder" an diesem Jahrhunderte alten Phantom, die keine ausreichende physikalische Schulung genossen haben. Die Einsicht nämlich, daß ein Apparat unmöglich konstruiert werden kann, der Arbeit aus nichts fortwährend erzeugt, ist ja eben der Inhalt des Energiesatzes, des sichersten aller physikalischen Gesetze. Aber wir müssen hier eine scharfe Unterscheidung machen. Der Energiesatz verneint die Möglichkeit eines Apparates, der Arbeit leistet. ohne anderweitig Energie zu verbrauchen. Er fordert aber geradezu dazu auf, nach einem Apparat zu suchen, der einen vollkommenen Energiekreislauf, eine Umwandlung von einer Energieart in die andere und Rückverwandlung bis zur völligen Wiederherstellung des alten Zustandes gestattet. Ein solcher Apparat genügte den Anforderungen des Energiesatzes vollkommen, die Summe der verschiedenen Energien bliebe während des ganzen Vorganges konstant. Man würde ihm natürlich keinerlei Arbeit entnehmen können, aber er selbst liefe in alle Ewigkeit weiter.

A n g e n ä h e r t stellt jede periodische Bewegung, wie z. B. die Pendelbewegung einen solchen Vorgang dar, aber eben immer nur angenähert. Ein derartiger Apparat nun heißt ein „Perpetuum mobile zweiter Art". Die Voraussetzung für seine Herstellung wäre die, daß es gelänge, die gesamte bei einem Vorgang wirksame Energie diesem unvermindert zu erhalten. Bei der Brownschen, sowie der echten Molekularbewegung ist das

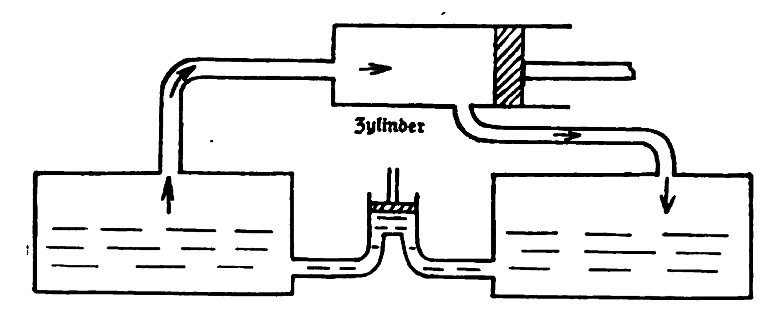


Abb. 5. Schema einer Wärmemaschine, links Kessel, rechts Kondensator.

der Fall. D i e E r k e n n t n i s a b e r , d a ß e i n e n t s p r e c h e n d e r A p p a r a t i n g r ö ß e r e n a l s m o l e k u l a r e n , i n m o l a r e n D i m e n s i o n e n , w i e m a n s a g t , n i c h t a u s f ü h r b a r i s t , b i l d e t d e n w e s e n t l i c h s t e n I n h a l t d e s z w e i t e n H a u p t s a t z e s [42]. Wäre das möglich, so könnte man sich beispielsweise denken, ein Schiff entnähme aus dem Ozean, der ja ein großes Wärmereservoir vorstellt, beliebige Wärmemengen, verwandelte diese in Arbeit, triebe damit die Schrauben, die nun ihrerseits wieder (durch Reibung) das Wasser erwärmen. Die Wärme hätte dann nur einen Kreislauf Wasser — Maschine — Wasser gemacht, aber das Schiff wäre gratis dazu über den Ozean gefahren. Arbeit ist dabei im ganzen weder gewonnen noch verloren, dem Energiesatz also genügt. Jedermann hat trotzdem das instinktive Gefühl, daß diese Art von Perpetuum mobile eine ebensolche Utopie ist, wie die erste. Warum ist das nun so? Wir müssen, um die Antwort wenigstens ungefähr zu verstehen, ein wenig in die „Thermodynamik" hineingehen.

Abb. 5 zeigt das Schema einer Wärmemaschine. Wir können annehmen, daß es eine Dampfmaschine ist, bei einer solchen pumpt man allerdings gewöhnlich das im K o n d e n s a t o r verdichtete Wasser nicht wieder in den Kessel zurück, weil man beliebig viel neues bekommen kann. Arbeitete die Maschine dagegen mit einem kostbareren Stoff, so würde man sie zweifelsohne so einrichten. Im Kessel

wird der arbeitende Stoff erwärmt und verdampft, im Kondensator durch Abkühlung wieder verdichtet. Der Drucküberschuß auf der Kesselseite treibt dann den Kolben im Zylinder vorwärts, wobei dieser Arbeit leisten kann. Die Grundfrage nun, auf die hier eine Antwort gesucht und zuerst von S. Carnot (1824) gefunden worden ist, ist die, wieviel Arbeit im günstigsten Falle, bei Ausschluß aller Verluste durch Reibung, Wärmeleitung und Strahlung nach außen usw. geleistet werden kann. Diese maximale Arbeit ist keineswegs gleich der gesamten dem Kessel zugeführten Wärme Q (die Kalorien in Meterkilogramm umgerechnet). Denn es ist sicher, daß bei dem ganzen Vorgang notwendig ein Teil der Wärme an das Kühlwasser im Kondensator abgegeben werden muß. Der Vorgang der Abkühlung besteht ja darin, daß dieses Wasser dem arbeitenden Stoff Wärme entzieht und ihn dadurch verflüssigt. Ohne diese Abkühlung kann die Maschine überhaupt nicht arbeiten, weil dann ja der Druck auf beiden Seiten gleich hoch wäre. Die rechnerische Verfolgung des Vorgangs ergibt nach Carnot und Clausius (1850), daß die in Arbeit umgesetzte Wärme im Höchstfalle den Betrag $Q \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2}$ erreicht, unter Q die gesamte im Kessel aufgespeicherte Wärme, unter T_1 und T_2 die „absoluten" Temperaturen (s. S. 67) des Kondensators und Kessels verstanden. Der Bruchteil $T_2 - T_1 / T_2$ heißt deshalb der (theoretische) „Wirkungsgrad" der Wärmemaschine.

Beträgt beispielsweise im Kessel die Temperatur 160° C, im Kondensator 40° C, was absolut (t + 273) die Werte $T_2 = 433$ und $T_1 = 313$ ergibt, so ist $T_2 - T_1 / T_2 = \frac{120}{433} \approx 0{,}28$ d. h. rund 28% der Wärme könnte in Arbeit verwandelt werden. Der Rest (62%) geht nutzlos auf das Kühlwasser über.

Wärme kann also nur in beschränktem Maße in Arbeit (oder andere Energieformen) verwandelt werden, der verwandelbare Bruchteil ist der vorhandenen Temperaturdifferenz ($T_2 - T_1$) proportional, aber dem absoluten Betrag der höheren der beiden Temperaturen umgekehrt proportional.

Dieser Satz heißt im engeren Sinne „zweiter Hauptsatz" der Thermodynamik. Es kommt nun ferner hinzu, daß die Wärme sich in jedem Falle, auch ohne überhaupt Arbeit zu leisten, durch freiwilligen Temperaturausgleich zerstreut. Dadurch wird praktisch bei jeder Wärmemaschine der Wirkungsgrad noch erheblich kleiner als der theoretische, er beträgt z. B. bei einer Dampfmaschine unter den oben angenommenen Verhältnissen nur etwa die Hälfte des theoretischen Wertes. Das „Perpetuum mobile 2. Art" ist demnach aus zweierlei Ursachen unmöglich. Einmal sind die letzterwähnten Wärmeverluste unwiederbringlich, zum anderen aber würde, selbst wenn sie nicht vorhanden wären, eine periodische Verwandlung von Wärme in Arbeit und umgekehrt durch den 2. Hauptsatz unmöglich gemacht. Denn wenn wir beispielsweise die von unseren Wärmemaschinen gelieferte maximale Arbeit (28%) etwa durch Heben eines Gewichtes aufspeicherten, so könnte

dieses beim Heruntersinken zwar wieder die gleiche Wärme, die sich in Arbeit verwandelt hatte $\left(Q\frac{T_2-T_1}{T_2}\right)$, an den Kessel abliefern, aber von dieser Wärme würde nun wieder blos der Bruchteil $\frac{T_2-T_1}{T_2}$ beim nächsten Mal in Arbeit verwandelt usf., die erhaltenen Arbeitsbeträge würden also (nach einer geometrischen Reihe z. B. 0,28; $0{,}28^2$; $0{,}28^3$ . . . .) immer kleiner.

Der tiefere Grund für diese auf den ersten Blick so merkwürdig anmutenden Sätze liegt, wie Boltzmann gezeigt hat, in der Natur der Wärme als einer „ungeordneten" Molekularbewegung. Die Übertragung der Wärme von einem Körper oder Körperteil auf einen anderen, der Wärmeausgleich, besteht in Wirklichkeit darin, daß die mit durchschnittlich größerer Bewegungsenergie begabten Moleküle des einen ihre Energie bei den fortwährenden Zusammenstößen der Moleküle an die langsameren des anderen Teils übertragen. Boltzmann zeigte nun, daß dieser Ausgleich nichts anderes bedeutet als den Übergang des ganzen Systems aus einem weniger wahrscheinlichen in einen wahrscheinlicheren Zustand. Durch die bloße Anwendung der statistischen Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung läßt sich deshalb der zweite Hauptsatz oder Entropiesatz*), wie man meist sagt, aus der kinetischen Theorie ableiten. Die einzige Annahme, die dabei gemacht werden muß, ist die „Hypothese der elementaren Unordnung", d. h. die Annahme, daß alle möglichen Molekulargeschwindigkeiten in allen möglichen Richtungen an sich gleich möglich sind (analog wie bei der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung etwa auf das Würfeln vorausgesetzt werden muß, daß der Würfel nicht etwa auf einer Seite schwerer ist). Diese Annahme trifft für gewöhnliche Temperaturen jedenfalls in sehr weitgehendem Maße zu, während sie nach neueren Untersuchungen (Planck, Nernst, Debye u. a.) in der Nähe des absoluten Nullpunktes allerdings nicht mehr als gültig angenommen werden darf. In diesem Falle sind also besondere neue Untersuchungen erforderlich und solche haben schon eine ganze Reihe höchst überraschender Resultate ergeben. Für die gewöhnlichen Verhältnisse darf jedoch die Hypothese der Gleichberechtigung aller Molekulargeschwindigkeiten und damit der Entropiesatz unbedenklich als gültig angenommen werden. Seine Anwendung hat sich in vielen Gebieten als noch weit fruchtbarer erwiesen, wie die des Energiesatzes. Besonders die theoretische Chemie hat mit ihm einen wahren Zauberstab in die Hand bekommen, seit vor allem van't Hoff, Horstmann und Gibbs den Gebrauch dieses Satzes in diese Wissenschaft einführten.

Nach alledem wird nun wohl die unveränderliche Dauer der Brownschen Bewegung, die ja selbst sozusagen nichts als die vergröberte Molekularbewegung ist, keiner weiteren Erörterung mehr bedürfen. Der Entropiesatz kann für sie

---

*) Entropie heißt Verwandlung. Der Name ist von Clausius für eine ganz bestimmte mathematische Größe eingeführt.

so wenig gelten, wie die Wahrscheinlichkeitsrechnung für die Einzelfälle. Sie unterliegt nur dem Energiesatz, der für molare so gut wie für molekulare Prozesse gilt.

Nach dieser kleinen Abschweifung, die wir im Interesse späterer Anwendungen uns erlauben mußten, kehren wir zu unserem eigentlichen Gedankengang, der Bedeutung der kinetischen Wärmetheorie für unser physikalisches Weltbild zurück. Angesichts der oben erwähnten Ergebnisse kann es, wie schon dort gesagt, heute wohl als festgestellt gelten, daß die von der kinetischen Wärmetheorie vorausgesetzten Molekularbewegungen „wirklich" sind, in demselben Sinne wie die Existenz der Moleküle selber wirklich ist (s. S. 23ff.). Wir erblicken darin abermals eine Bestätigung dessen, was oben über den Sinn der physikalischen Hypothesen entwickelt wurde. Was vor beinahe 200 Jahren schon einige geniale Köpfe sich als Erklärung für das Verhalten der Gase gegenüber Druck- und Temperaturänderungen ausdachten, das kann heute als experimentell gesicherte Tatsache hingestellt werden. Eine Vermutung, sogar eine recht gewagte Vermutung, hat sich als zutreffend erwiesen, nicht bloß ein „Modell" als brauchbar. Allein der Kritiker wird deshalb doch noch lange nicht die Waffen strecken. Er wird vielmehr sagen: Gut, es sei einmal so, obwohl ich auch noch vielerlei Bedenken dagegen hätte. Aber auch, wenn es denn einmal als Tatsache gilt, daß es Moleküle gibt, und daß diese sich so bewegen, wie es die kinetische Theorie herausgerechnet hat, so ist damit diese letztere noch längst nicht „bewiesen". Es ist vielmehr nur gezeigt, daß proportional dem, was wir Temperatur nennen und mittels des Wasserstoff- oder Luftthermometers ablesen, und was uns im Groben wenigstens unsere Hautnerven anzeigen, Molekularbewegungen stattfinden. Wer sagt aber, daß die Wärme mit diesen Bewegungen identisch sei? Würde das nicht heißen, daß alle Erscheinungen der Wärme auf diese Bewegungen zurückführbar seien, also aus der kinetischen Theorie deduzierbar sein müßten, und stünden wir damit nicht vor der unmöglich erfüllbaren Forderung einer vollständigen Induktion, d. i. einer unendlichen Erfahrung? Was werden wir auf diese Kritik erwidern? Etwas sehr Einfaches, so einfach, daß es deshalb leicht zu übersehen ist. Dies nämlich, daß die Wärme für uns mit der Molekularbewegung fortan identisch ist per definitionem. Wir messen die Temperatur tatsächlich doch stets mit dem Wasserstoff- oder Luftthermometer. Damit messen wir nichts anderes als die Molekularbewegung, denn diese erzeugt

den „Druck“ des eingeschlossenen Gases. Jedes andere Thermometer wird praktisch nach dem Luftthermometer geeicht. Sollten wir aber auf irgendeine Weise zu der Überzeugung kommen — und das trifft wirklich zu — daß in bestimmten Temperaturbereichen, etwa bei sehr niedrigen Temperaturen, die Angaben des Luftthermometers nicht mehr genau genug der tatsächlichen Molekularenergie entsprechen, so hindert uns nichts, zu erklären, daß hier trotzdem die letztere als „Temperatur“ zu gelten habe, und das benutzte Thermometer nicht genau genug diese „Temperatur“ angebe. Das ist reine Konventionssache, und dabei ist nichts Wunderbares mehr, wenn wir uns nur einmal darüber klar sind, daß wir uns mit unserem physikalischen Temperaturbegriff so wie so schon von der unmittelbaren Sinneserfahrung des Wärmegefühls längst freigemacht haben und freimachen mußten. Die Frage, ob alle Erscheinungen der Wärme auf die Molekularbewegung sich zurückführen lassen, ist gegenstandslos, wenn wir als Wärme einfach die Molekularbewegung definieren. Einen Sinn kann sie nur noch haben, wenn man unter Wärme immer wieder das ursprüngliche Wärme gefühl verstehen will. Dann würde sie darauf hinauslaufen, ob dieses Wärmegefühl stets in dem gleichen Zusammenhange mit den anderen Erscheinungen steht, wie die Molekularbewegung. Daß dies nicht der Fall ist, wußten wir vorher schon (s. S. 66), denn eben deshalb haben wir ja die Thermometer statt der Haut eingeführt, weil wir aus Verstandesschlüssen uns sagen müssen, daß unser Wärmegefühl uns „täuscht“. Dahin gehört z. B. auch, wenn uns Säuren oder Alkohol auf der Haut „brennen“. Wir müssen aus den Thermometerangaben schließen, daß hier das Wärmegefühl eintritt ohne Erhöhung der Molekulargeschwindigkeit und halten uns für berechtigt, dasselbe, obwohl es doch ohne Zweifel vorhanden ist, als eine „Sinnestäuschung“ zu erklären. Damit meinen wir doch nichts anderes als dies, daß der Zustand, der normalerweise sonst erfahrungsgemäß das Wärmegefühl veranlaßt, hier nicht vorliegt. Dieser Zustand ist die Erhöhung der Molekularenergie. Alles andere, was außerdem etwa das Wärmegefühl veranlassen kann, schließen wir per definitionem von dem physikalischen Wärmebegriff einfach aus. Darin liegt keine größere oder unberechtigtere Willkür, wie wenn wir in der physikalischen Akustik unter Ton und Schall nur die schwingenden Bewegungen der Stoffe verstehen, und von einer Sinnestäuschung bei allem sprechen, was außerdem etwa noch das Ohr zu einer Tonempfindung an-

regen kann. So wenig das Ohrensausen eines Fieberkranken ein Objekt der physikalischen Akustik ist, so wenig sind die Fieberhitze (die nicht nur durch die geringe Temperaturerhöhung entsteht) oder die obengenannten Fälle von „brennendem Schmerz" ein Objekt der physikalischen Wärmelehre. Sonst könnte man auch ein geträumtes Konzert der Akustik und den bekannten Traum vom Fliegen der Mechanik zuweisen. Der Zweck der Physik ist ja gerade, durch die gegenseitige Kontrolle der Sinnesempfindungen mit Hilfe des Verstandes ein von den Sinnesempfindungen *möglichst* unabhängiges, die Gewähr seiner Richtigkeit in sich selbst tragendes Bild der Wirklichkeit zu entwerfen (s. S. 26, 69). Dazu sind solche genauen, nur scheinbar willkürlichen Definitionen wie die angeführten ein unentbehrliches Mittel.

Man kann freilich dem entgegenhalten und hat auch oft genug dies der Physik vorgehalten, daß bei allem diesem Vergleichen, Kombinieren und Analysieren wir doch nimmermehr aus dem Bereich der Sinnesempfindungen herauskämen, und so im Grunde nur ein unbekanntes X auf ein anderes Y zurückführen können. Wenn z. B. die kinetische Wärmetheorie die Wärme in Bewegungen auflöse, so sei damit im Grunde nichts wahrhaft erklärt, da ja die „Bewegung" doch ebenso gut auf bestimmte Sinneseindrücke zurückgehe, wie die Wärme. Das ist in gewissem Sinne richtig. Und doch ist das Wichtigste dabei übersehen. Es ist nämlich keineswegs gleichgültig, ob ich in der Wärme und der Bewegung zwei verschiedene in ihrer Isoliertheit mir doppelt unverständliche Sinneserfahrungen nebeneinander habe, oder ob ich beide auf nur *eine* Unbekannte reduziere. *Nur auf diesem Wege der Reduktion der Erscheinungsgruppen aufeinander oder auf ein drittes Gemeinsames, beiden zugrunde Liegendes ist es überhaupt möglich, eine Antwort auf die Frage, was die Wirklichkeit sei, zu finden.* Wenn das schließlich dann nur eine relative Antwort vom Standpunkte der Erkenntnistheorie werden sollte, wenn das unerkennbare „Ding an sich" hinter dieser Wirklichkeit uns als ewig verborgenes Rätsel weiter wie bisher bestehen bleiben sollte — gut, das kann der Physik dann gleichgültig sein. Von ihrem Standpunkte aus liegen keine Rätsel mehr vor, sobald — alle auf ein einziges reduziert sind. Das klingt wie ein Widerspruch, ist aber dennoch keiner. Es ist nämlich leicht einzusehen, daß das Rätselhafte an einer Erscheinungsgruppe zunächst nur in ihrer Isolation besteht. Das, was als „brutale

Tatsache" so ohne Zusammenhang mit anderem dasteht, das erscheint uns eben deshalb als rätselhaft und fordert die Frage nach seiner Erklärung, d. h. nach seiner Unterordnung unter ein Allgemeineres, heraus. (So ergeht es uns z. B. mit der Gravitation. Sie würde uns in demselben Augenblick „erklärt" erscheinen, wo es etwa gelänge, das Gravitationsgesetz als eine Folge der elektromagnetischen Grundgesetze zu erweisen*). — Wären nun aber alle Erscheinungen so in einem einzigen Grundbestand zusammengefaßt, so würde uns eben dieser als seinerseits selbstredend nicht mehr erklärbar zu gelten haben, da er selber ja alles Vorhandene erklärt. Nur zwei Fragen könnte man an ihn noch stellen: 1. Woher kommt er überhaupt und warum ist er gerade so, wie er ist, warum nicht anders? Das wäre das in letzte physikalisch überhaupt zugängliche Stellung zurückgeschobene Problem, warum überhaupt die Welt da ist und zwar gerade so und nicht anders. (Das kosmologische Problem der „Kontingenz" der Welt.) Dies Problem überschreitet den Rahmen der Physik, obgleich in gewissem Sinne eine Diskussion darüber möglich ist. Wir kommen darauf unten zurück (s. S. 181); 2. aber könnte man nur noch fragen: was hat der hypothetische physikalische Grundbestand der Welt, in den alle physiko-chemischen Erscheinungen eingeschlossen zu denken sind, also auch diejenigen Vorgänge, welche sich im Gehirn etwa des Menschen bei einer Empfindung abspielen, was hat dieser physikalische Bestand mit eben jenem Seelischen, der Empfindung usw. zu tun? Das ist das ebenfalls in die letzte physikalisch denkbare Position zurückgeworfene psycho-physische Problem, auf das wir weiter unter in anderem Zusammenhange noch einzugehen haben. — Mit Rücksicht auf diese beiden Fragen mag man also immerhin von Welträtseln sprechen, in anderem Sinne aber hinter der Physik noch die unerhörtesten Rätsel zu suchen, ist grundlose Geheimniskrämerei.

Die kinetische Wärmetheorie ist einer der wesentlichsten Schritte auf dem Wege der modernen Physik, der zur Einordnung alles Besonderen

---

*) Obigen Satz der ersten Auflage habe ich absichtlich stehen lassen. Einsteins „allgemeine Relativitätstheorie" hat ihn zur Genüge gerechtfertigt (s. S. 146). Nur muß statt der „elektromagnetischen Grundgleichungen" etwas anderes gesetzt werden.

unter ein Allgemeines, zur Aufsuchung der Grundgesetze führt, deren Folgen und Spezialfälle alle einzelnen Naturgesetze sind. Durch die kinetische Wärmetheorie verschwindet der scheinbare qualitative Unterschied zweier Gebiete, der der mechanischen und der Wärmeerscheinungen, und wird zu einem bloß quantitativen molarer und molekularer Bewegungen. Noch viel klarer aber, geradezu handgreiflich tritt uns nun diese gleiche Einheitstendenz entgegen, wenn wir das zweite der oben angeführten Beispiele betrachten.

Die elektromagnetische Lichttheorie.

Um diese zu verstehen, ist es nötig, daß wir zunächst die Lichttheorie bis 1860 kurz verfolgen.

Vor der Autorität Newtons, der die „Emissionstheorie" des Lichtes vertrat, d. h. das Licht als einen von dem leuchtenden Körper ausgeschleuderten äußerst feinen unwägbaren Stoff betrachtete, hatte die gleichzeitig mit dieser Theorie von Huygens aufgestellte Wellentheorie zunächst das Feld räumen müssen, bis etwa um 1800—1820 insonderheit durch die hervorragenden Leistungen Fresnels sich das Blatt wandte. Indem dieser zeigte, daß fast alle bis dahin bekannten optischen Erscheinungen, auch die überraschenden Effekte der Krystalloptik, sich auf Grund der Annahme von Wellenbewegungen erklären ließen, indem er zahlreiche neue Erscheinungen voraussagte, die denn auch wirklich gefunden wurden, indem er aber vor allem durch direkte Versuche (Fresnelsche Spiegel) bewies, daß Lichtwellen zur Interferenz gebracht werden, d. h. sich gegenseitig verstärken und auslöschen können, verhalf er der Wellentheorie zum endgültigen Siege. Dieser Sieg mußte allerdings, wie es schien, mit einer ungeheuerlichen Paradoxie in den Grundannahmen erkauft werden. Die Lichtwellen müssen nämlich, wie die Polarisationserscheinungen beweisen (näher kann hier nicht darauf eingegangen werden), transversale Wellen sein, d. h. die in ihnen stattfindenden Schwingungen müssen auf der Fortpflanzungsrichtung der Welle, dem „Lichtstrahl", senkrecht stehen, so wie bei einem gespannten Seil, über das eine Welle hinläuft, jedes einzelne Teilchen senkrecht zu dieser Richtung schwingt. Solche Wellen sind nun aber, wie in der Physik gezeigt wird, nur in solchen Medien möglich, welche eine Gestaltselastizität besitzen, d. h. nicht nur einer Volumveränderung (wie alle Körper) sondern einer Formänderung eine meßbare Widerstandskraft entgegensetzen, mit anderen Worten, nur in festen, nicht in flüssigen oder gasförmigen Medien, da diese ja keine bestimmte Gestalt haben[49]. In Medien letzterer Art sind nur longitudinale (Verdichtungs- und Verdünnungs-) Wellen möglich. Als solche hatte deshalb auch Huygens die Lichtwellen angesehen, indem er sich den „leeren Raum", durch den sie sich ja fortpflanzen, mit einem äußerst feinen Stoff (etwa nach Art eines millionenfach verdünnten Gases) erfüllt dachte. Dieses Lichtmedium nannte er Äther. Allein nach Fresnel sollte nun ja das Licht in Transversalwellen bestehen. Das hieß also doch voraussetzen,

daß dieser Äther die Eigenschaften eines vollkommen elastischen festen Körpers („einer Art Gallerte") hätte. Ist das nicht ein ungeheuerlicher Widerspruch, da doch die Planeten diesen Äther scheinbar ohne jeden Widerstand durchqueren? Es gelang der Fresnelschen Lichttheorie nicht, diese Schwierigkeit zu überwinden.

Der Grund liegt offenbar darin, daß das Licht hier geradezu mit einer Bewegung gleichgesetzt wird, also in der mechanischen Grundauffassung der Sache. Daß dies als selbstverständlich zulässig und richtig angenommen wurde, darf uns nicht wundern. War es doch bis zur Wirksamkeit Faradays und Maxwells (s. S. 94) überhaupt selbstverständlich, daß alles auf Mechanik zurückzuführen sei, und so kam es denn auch, daß man erst verhältnismäßig spät, etwa von 1840—1850 an, auf den Gedanken kam, die Lichttheorie dadurch von diesem Widerspruch zu befreien, daß man sie aus der Verquickung mit diesem zu engen mechanischen Bilde löste. Wie ist das möglich?

Es handelt sich hier zunächst um eine Erweiterung des Begriffs Schwingung und des aufs engste damit zusammenhängenden Begriffs Welle. Wenn wir den Abstand x etwa eines schwingenden Pendels von der Normallage in seiner Abhängigkeit von der Zeit durch eine Kurve (graphisch) darstellen, so erhalten wir die beistehende Abb. 6, welche die bekannte Sinuskurve wiedergibt. Die höchsten und tiefsten Punkte derselben bedeuten die größten Ausschläge etwa nach rechts und links, die Schnittpunkte der Kurve mit der t-Achse die Zeitpunkte, wo das Pendel gerade durch die Normallage geht. Wir können nun jedoch diese selbe Kurve ebenso gut bekommen, wenn irgend eine andere Größe sich mit der Zeit periodisch ändert. Denken wir uns beispielsweise, daß die Temperatur in einem Zimmer um 0° herum schwankt, etwa zwischen den Grenzen + 10° und — 10°, so könnte, wenn dieser Wechsel in geeigneter Weise geregelt wird, es erreicht werden, daß ein selbstregistrierendes Thermometer gerade auch eine solche Kurve aufzeichnete, die Temperatur in ihrem zeitlichen Verlauf also ebenfalls wieder durch die Sinuskurve dargestellt würde. In diesem Falle würde man nun auch zweckmäßig sagen: Die Temperatur macht Schwingungen, was natürlich niemand als wirklich hin und hergehende Bewegung, sondern bloß als bildlichen Ausdruck für periodische Zustandsänderung ansehen würde. Das ist nun die in Rede stehende Erweiterung. Wir sprechen von Schwingung ganz allgemein dann, wenn irgend eine physikalische Größe (z. B. Temperatur, elektrischer Widerstand u. a.) sich periodisch mit der Zeit ändert und von Welle sprechen

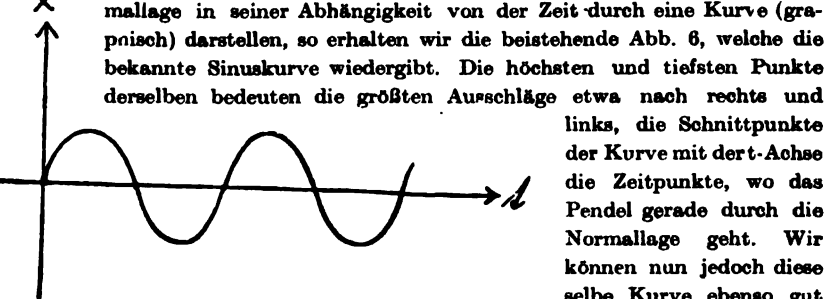


Abb. 6. Sinuskurve als graphische Darstellung einer Schwingung.

wir ebenso stets dann, wenn eine solche Zustandsänderung sich im Raume fortpflanzt, d. h. wenn aus irgend welchen Gründen die im Punkte A des Raumes stattfindende Änderung nach und nach die Nachbarpunkte von A beeinflußt, so daß diese gezwungen werden, dieselbe Änderung durchzumachen, nur jeder folgende immer ein wenig später als der vorhergehende, so daß wir in einer gewissen Entfernung vom Anfangspunkte dem „Erregungszentrum" der Welle, stets Punkte finden, die gerade mit dem ersten Änderungszyklus anfangen, wenn der Anfangspunkt A damit fertig ist und den zweiten Zyklus beginnt usf. In doppelt so großer Entfernung müssen dann wieder Punkte kommen, die abermals um eine volle „Schwingungsdauer" T hinter diesen und um 2 T hinter dem Anfangspunkte zurück sind usf. Der Abstand solcher Punkte heißt je eine Wellenlänge, und man überzeugt sich leicht, daß für die „Fortpflanzungsgeschwindigkeit" der Welle die Gleichung $c = \lambda/T$ gilt. (Denn in der Zeit T rückt die Welle um das Stück λ vorwärts.) Da andererseits, wenn n Schwingungen pro Zeiteinheit (sec) gemacht werden, die Dauer jeder Einzelschwingung $T = {}^1/n$ ist, so ist auch $c = \lambda \cdot n$. Diese Grundformel der Wellenlehre können wir hier nicht ganz umgehen. Auf weitere mathematische Formulierungen brauchen wir jedoch nicht einzugehen.

Fassen wir nun die Begriffe Schwingung und Welle in dem hier erörterten erweiterten Sinne auf (= periodische, sich im Raume fortpflanzende Zustandsänderung), so werden die Schwierigkeiten der Lichttheorie erheblich gemildert, allerdings um den Preis, daß die Anschaulichkeit verloren geht und einem reinen mathematischen Formalismus Platz macht. Wir können jetzt nämlich sagen: Es soll uns zunächst einmal ganz gleichgültig sein, welche physikalische Größe im Lichtstrahl eigentlich Schwingungen macht, d. h. sich periodisch ändert, und wir lassen es auch einstweilen dahingestellt, wodurch diese Änderung von einer Stelle des Raumes zur anderen übertragen wird. (Bei einem gespannten Seil machen das die elastischen Kräfte, bei longitudinalen Schallwellen in der Luft der durch die Verdichtung entstehende Druck). Wir nehmen nur an, daß irgendeine Größe, die an jeder Stelle des Raumes einen bestimmten Wert hat, diesen Wert periodisch ändert und zwar so, daß eine Änderung an einer Stelle notwendig die an anderen Stellen in der Umgebung nach sich zieht. Von dieser Größe können wir dann noch das aussagen, daß es eine gerichtete Größe sein muß, da ja im Licht nach Fresnel die Schwingungen auf der Fortpflanzungsrichtung senkrecht stehen sollen, also selbst eine besondere Richtung haben müssen. Eine solche gerichtete Größe, wie z. B. eine Kraft oder Geschwindigkeit oder Beschleunigung oder dergleichen, heißt in der theoretischen Physik allgemein ein Vektor, und so können wir den

gewonnenen Standpunkt jetzt so umschreiben: Das Licht besteht in periodischen Änderungen (Schwingungen) irgendeines „Vektors“*), dessen Richtung immer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung liegt. Welcher Art jedoch dieser „Lichtvektor“ ist, und warum und wie die Änderung desselben von einem Punkt des Raumes zum anderen sich fortpflanzt, bleibt einstweilen unbestimmt. Wir können in Hinsicht auf letztere Frage uns ebenfalls damit begnügen zu sagen, daß sie nach demselben Gesetz wie bei elastischen Wellen erfolgt. Den so gewonnenen, sehr abstrakten, aber dafür jenen Einwänden nicht ausgesetzten Standpunkt kann man passend die formalistische Lichttheorie nennen. Um die Mitte des Jahrhunderts hatte er wohl die meisten Anhänger unter den theoretischen Physikern und hat bis weit gegen das Ende hin, obwohl durch die Maxwellsche Theorie schon 1860 überholt, seine Herrschaft behauptet, weil er der allgemeinen hypothesenfeindlichen, formalistischen Richtung der Physik vorzüglich entsprach. Man hatte ein Formelsystem, das in denkbar einfachster Weise die bekannten Erscheinungen wiedergab, und neue abzuleiten gestattete, also denkökonomisch und heuristisch fruchtbar war (s. S. 28). Mehr hatte die Physik ja überhaupt nicht zu beanspruchen. Es gab aber doch Leute, besonders im realistisch gerichteten England, die mehr beanspruchten. Um das darzulegen, müssen wir wieder ein Stückchen in der geschichtlichen Entwicklung zurückgreifen und uns nun der Geschichte der Elektrizitätstheorie zuwenden.

Die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus hatte um die Wende des 18. und 19. Jahrhunderts gewaltige neue Antriebe durch Galvanis und Voltas u. a. Entdeckungen erhalten und gleichzeitig hatte Coulomb zum ersten Male ein quantitatives Gesetz für die elektrischen Wirkungen gefunden. Die anziehende bzw. abstoßende Wirkung zweier (ungleichnamiger bzw. gleichnamiger) Magnetpole oder elektrischer Ladungen ist nach seinen Untersuchungen erstens direkt proportional zu einer Größe, die man Polstärke bzw. Ladungsmenge nennt, und zweitens umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung $\left(\sim \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ bzw. } \frac{e_1 e_2}{r^2}\right)$. Die Analogie dieses Gesetzes mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz

*) Der Laie hüte sich vor dem Mißverständnis, bei „Vektor“ an den das Licht „übertragenden“ Stoff zu denken (Wegen der Wortbedeutung vehi = fahren).

liegt auf der Hand, und infolge dieser Übereinstimmung in der Grundlage stimmen denn auch weiterhin die Gesetze des Magnetismus und der (ruhenden) Elektrizität formal weitgehend mit denen der Gravitation überein. Die Ausbildung der mathematischen Theorie dieser Wirkungen verdankt die theoretische Physik hauptsächlich Laplace, Poisson und Gauß. Als nützliche „Fiktionen" erweisen sich dabei die Begriffe des

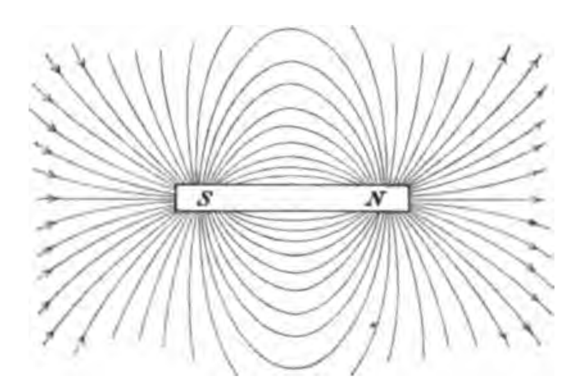


Abb. 7. Kraftlinien eines Stabmagneten.

„Feldes", der „Kraftlinien" des „Potentials" u. a. m. Wegen ihrer fundamentalen Bedeutung für das gesamte physikalische Weltbild müssen wir auf das Wichtigste kurz eingehen.

Wir nennen den Raum um eine schwere Masse, einen elektrischen Körper oder einen Magneten herum, in dem Gravitations- usw. Wirkungen nachweisbar sind, sein Feld (Gravitations-, elektrisches, magnetisches Feld). Bringen wir in die Umgebung etwa eines Magneten einen kleinen Nordpol, den wir uns punktförmig denken wollen, so bewegt sich dieser auf einer gewissen krummen Linie durch das Feld. (Praktisch kann man ihn diese Linie verfolgen lassen, indem man den Pol etwa auf Wasser schwimmen läßt). Von jeder anderen Stelle aus beschreibt er ebenfalls eine solche Linie, die wir eine Kraftlinie nennen, und so wird der ganze Raum also durchzogen gedacht von solchen Kraftlinien, die an jeder Stelle die Richtung der magnetischen Kraft angeben (Abb. 7). Man kann sie bekanntlich durch Eisenfeile sichtbar machen. Genau das entsprechende gilt für das elektrische und das Gravitationsfeld. Als Richtung der Kraftlinie gilt dabei im magnetischen Felde stets die oben angegebene, die Bewegungsrichtung eines Nordpols, im elektrischen die eines positiven Probekügelchens und im Gravitationsfelde die einer hineingebrachten schweren Masse. Die Kraft, die hier auf den hineingebrachten Körper ausgeübt wird, erscheint auf diese Weise in zwei Faktoren zerlegt, nämlich einesteils die „Feldstärke", andernteils die

Größe der hineingebrachten Ladung (Polstärke, Masse). Mathematisch gesprochen: Man zerlegt den Ausdruck $\frac{m_1 m_2}{r^2}$ in die Faktoren $\frac{m_1}{r^2}$ und m_2, wovon der erste dem Zustand des „Feldes" der Masse m_1 an derjenigen Stelle, wo m_2 ist (in der Entfernung r) mißt, während m_2 nur von dieser Masse selbst (dem Probekörper oder „Aufpunkt", wie der Kunstausdruck heißt), abhängt. Dies alles aber ist natürlich einstweilen eine bloße mathematische Betrachtungsweise, ein „Bild" oder „Modell" oder besser: ein Schema, das sich bei der weiteren mathematischen Verarbeitung als überaus zweckmäßig erweist. Etwas anderes haben auch Poisson und Gauß, die Hauptbegründer dieser Auffassung, zunächst nicht damit beabsichtigt. Wir können uns ein weiteres Eingehen auf diese mathematische Ausführung sparen und kommen nun zu der Umgestaltung dieser bloß mathematischen zu einer physikalischen Theorie durch Faraday und Maxwell.

Auf diese unser gesamtes Weltbild von Grund auf umwandelnde Auffassung des „Feld"-Begriffes ist Faraday wahrscheinlich durch die von ihm zuerst gemachte Beobachtung geführt worden, daß die Größe der elektrischen und magnetischen Wirkungen zwischen zwei Körpern wesentlich abhängt von der Substanz, die sich zwischen ihnen befindet. In dem Coulombschen Gesetz kommt dies dadurch zum Ausdruck, daß dem Produkt $\frac{e_1 e_2}{r^2}$ bzw. $\frac{m_1 m_2}{r^2}$ noch ein Faktor $\frac{1}{\varepsilon}$ bzw. $\frac{1}{\mu}$ zugesetzt wird, der von der Substanz des Mediums abhängt. ε bzw. μ heißen Dielektrizitäts- bzw. Magnetisierungskonstante des betreffenden Stoffes. Aus dieser Tatsache schloß Faraday mit Recht, daß diese Wirkungen durch den Raum vermittelt sein müßten, daß wir es also bei ihnen keineswegs mit einfachen „Fernwirkungen" zu tun hätten, wie man seit Newton die Sache allgemein aufgefaßt hatte. Newton selbst hatte zwar nach einer Vorstellung gesucht (siehe S. 41), die die Wirkung der Gravitation durch den Raum verständlich machen sollte. Da ihm dies aber nicht gelang, vielmehr die Annahme einer einfach als solche hinzunehmenden Fernkraft alle astronomischen Erscheinungen so glänzend erklärte, und da man sogar umgekehrt mit einigem Erfolg versuchte, Wirkungen, wie die der elastischen Kräfte, die man bis dahin als unmittelbare Nahwirkungen von Punkt zu Punkt aufgefaßt hatte, auch auf Fernkräfte zwischen räumlich getrennten Atomen zurückzuführen, da also überhaupt (siehe oben S. 62) die ganze Physik sich in eine Summe von Fernkräften zwischen räumlich getrennten Massenpunkten aufzulösen schien, so trat der Gedanke an eine räumliche Übertragung völlig zurück, und insonderheit die elektrischen und magnetischen Kräfte erschienen durchaus unter diesem Gesichtspunkt. —

Dem trat nun also die Faradaysche Auffassung direkt entgegen. *Sie setzte an die Stelle der unvermittelten Fernwirkung die durch das Medium vermittelte Nahwirkung*, und da diese Wirkungen sich erfahrungsgemäß auch durch den leeren Raum erstrecken, so erschien dieser selbst jetzt als elektromagnetisches Medium. Der „Äther" der Huygens-Fresnelschen Lichttheorie gewann damit eine neue Bedeutung. Er war jetzt Träger eines elektrischen bzw. magnetischen Feldes, dieses selbst war ein realer Zustand im Raum (Äther) bzw. im Medium, die Kraftlinien usw. waren der mathematische Ausdruck für diesen wirklich vorhandenen Zustand und die „Feldstärke" $\left(\frac{m}{r^2}\right)$ das Maß derselben. Es ist charakteristisch für das Streben des Menschengeistes nach *mechanischer* Ausdeutung der Dinge, daß auch Faraday sich diesen ganzen Zustand zu veranschaulichen versuchte durch den Vergleich mit dem Spannungszustand, der etwa in einer Gummiplatte herrscht, die man nach einer Richtung ausgedehnt hat, daß er also doch wieder auf mechanische Bilder zurückgriff, wie man das vor allem in England auch heute noch tut. Notwendig ist das aber, wie wir noch näher sehen werden, keineswegs. Es kommt nur darauf an, daß diesen Kraftlinien, Feldstärken usw. tatsächlich irgendein reales Etwas in dem fraglichen Raumteil entspricht, daß man also das Feld als etwas auch dann real Vorhandenes ansieht, wenn der „Aufpunkt" gar nicht da ist.

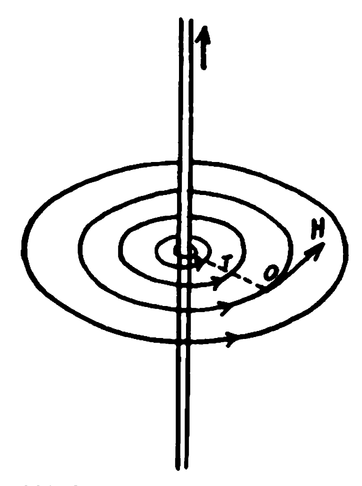


Abb. 8. Magnetfeld eines Stromes. Der Strom geht von unten nach oben.

Ihre ganze Fruchtbarkeit bewies diese Vorstellung, die zunächst ziemlich unbeachtet blieb, nun aber erst, als es Faradays großem Landsmann *Maxwell* gelang (1860), sie in der Form mathematischer Begriffe zu erfassen und zugleich wesentlich zu erweitern. In der bekannten Tatsache der Ablenkung einer Magnetnadel durch einen elektrischen Strom (*Oersted* 1820) liegt, daß ein elektrischer Strom in seiner Umgebung ein magnetisches Feld erzeugt (Abb. 8). Maxwell erkannte zunächst, daß dies nur ein

besonderer Fall eines allgemeineren Sachverhaltes ist. Ein elektrischer Strom ist ein Ausgleich einer elektrischen Spannung, bedeutet mithin stets so viel wie eine elektrische Feldänderung (Verschwinden eines Feldes). Maxwell erweiterte deshalb die von Oersted zuerst festgestellte Beziehung dahin, daß jede elektrische Feldänderung ein magnetisches Feld in der nächsten Umgebung derjenigen Stelle erzeugt, wo die elektrische Feldänderung geschieht. Das genaue Gegenstück dazu hatte nun schon Faraday gefunden in der Grundtatsache der sogenannten Induktion: Änderung eines magnetischen Feldes erzeugt in einem darin befindlichen Leiter einen sogenannten „Induktionsstrom". Denkt man sich diesen Leiter fort, so entsteht zwar kein Strom, wohl aber trotzdem eine elektrische Spannung, mit anderen Worten ein elektrisches Feld in dem betreffenden Raumteil, und so ergibt sich Maxwells zweites Gesetz: Änderung eines magnetischen Feldes erzeugt in der nächsten Umgebung ein elektrisches Feld. Beide Gesetze formulierte Maxwell in zweimal 3 mathematischen Gleichungen, die zugleich die quantitativen Beziehungen angeben. Diese Gleichungen enthalten die zeitliche Änderung bzw. die räumliche Verteilung der elektrischen und magnetischen Feldstärke, die Dielektrizitätskonstante bzw. Magnetisierungskonstante des betreffenden Mediums und eine Konstante c, welche den Zahlenbetrag der von einer bestimmten elektrischen Feldänderung (Stromstärke) erzeugten magnetischen Feldstärke bzw. umgekehrt festlegt.

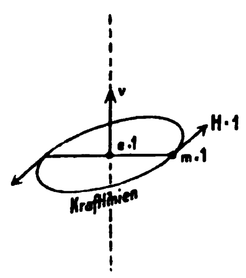


Abb. 9. Zur Definition von c

Die Konstante c gibt praktisch genommen an, mit welcher Geschwindigkeit eine elektrische Einheitsladung bewegt werden muß, damit der so gegebene „Strom" in der Entfernung 1 cm einen Magnetpol von der Stärke 1 mit der Krafteinheit (1 Dyn) antreibt (Abb. 9). Nach den Messungen von Kohlrausch und Weber (1847) ist der Betrag dieser Konstante $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/sec = 300 000 km/sec.

In Maxwells „Gleichungen" ist nun unmittelbar die Folgerung enthalten, daß irgendeine Änderung im Zustande des elektrischen oder magnetischen Feldes sich von dem Orte der Änderung aus nach allen Seiten mit

endlicher Geschwindigkeit ausbreiten muß. Die Geschwindigkeit, mit der diese Ausbreitung geschieht, ist nach den Gleichungen $= \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$, und da im leeren Raume ε und $\mu = 1$ sind, so ist sie im leeren Raume c selbst. Diese Konstante c besitzt also gleichzeitig die Bedeutung der **Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Zustandsänderungen im leeren Raume.** Denken wir uns

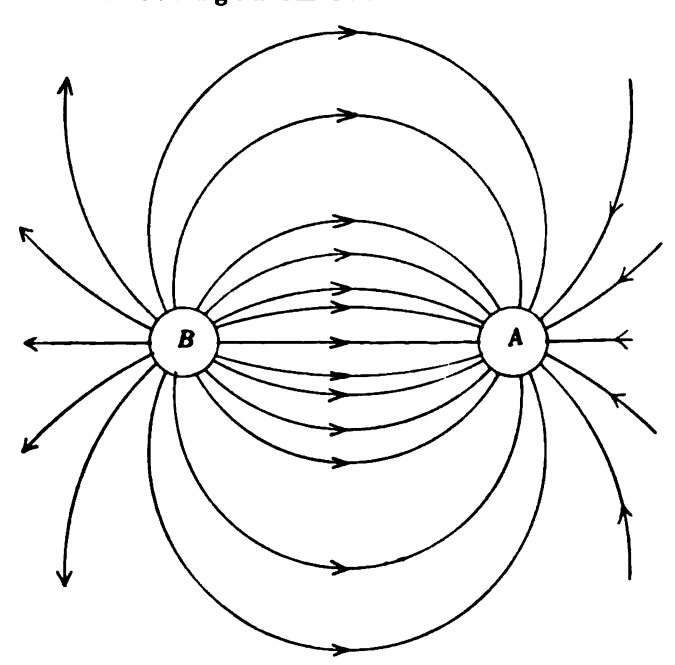


Abb. 10. Elektrisches Kraftfeld zweier geladenen Kugeln, die negative *A* rechts, die positive *B* links.

nun den Zustand an irgendeiner Stelle periodisch geändert, so muß sich diese periodische Änderung ebenfalls mit der Geschwindigkeit c ausbreiten. Das heißt aber nichts anderes als: Wir haben „elektromagnetische Wellen" mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit c. Um es ganz anschaulich vorzustellen, wollen wir uns zwei entgegengesetzte elektrisch geladene Kugeln A und B (Abb. 10) denken, deren Ladung fortwährend gewechselt wird, sagen wir eine Million mal in der Sekunde. Dann „schwingt" also (in dem oben erörterten allgemeinen Sinne dieses Wortes) an dieser Stelle das elek-

trische Feld hin und her (Abb. 10 stellt nur einen Moment vor, nach einer halben Schwingungsdauer haben sich die Kraftlinien hier gerade umgekehrt). Ebenso oft kehren sich nun auch überall im ganzen Felde alle Kraftlinien um, jedoch sind immer die weiter entfernten damit etwas zurück gegen die näheren, so daß in einer gewissen Entfernung λ Punkte liegen, die gerade mit der ersten Umkehrung erst beginnen, wenn bei A B schon die zweite anfängt u. s. f. Gleichzeitig mit diesen elektrischen Schwingungen finden nach Maxwells Gleichungen überall magnetische Schwingungen statt, deren Kraftlinien senkrecht zu den elektrischen liegen. Beide liegen ihrerseits senkrecht zu den von der Stelle A B wegführenden Geraden, den „Fortpflanzungsrichtungen" der Wellen, wir haben es also mit „Transversalwellen" zu tun.

Nun ist die Konstante c der Maxwellschen Gleichungen bzw. des Kohlrausch-Weberschen Versuchs aber ferner gerade die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume. Es ist selbstverständlich, daß aus dieser Übereinstimmung Maxwell sogleich den weiteren Schluß ziehen mußte: die Lichtwellen sind auch nichts anderes als solche elektromagnetischen Wellen. Anders gesagt: Der von der formalistischen Lichttheorie unbestimmt gelassene „Lichtvektor" ist die elektrische bzw. die magnetische Feldstärke[44].

Ehe wir dieses Ergebnis nach seiner theoretischen Bedeutung hin weiter verfolgen, schalten wir noch ein paar kurze Angaben über die experimentelle Seite der Sache ein. Es ist bekannt, daß es erst 20 Jahre nach Maxwell dem genialen Heinrich Hertz gelang, die von jenem vorausgesagten elektrischen Wellen experimentell zu erzeugen und an ihnen nicht nur sämtliche Eigenschaften der Lichtwellen (Reflexion, Brechung, Interferenz, Beugung, Polarisation) nachzuweisen, sondern auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit direkt zu messen, die er nahezu gleich c fand. Heute sind dank der drahtlosen Telegraphie diese Dinge ja allgemein bekannt. Man benutzt für diesen Zweck Wellen von einigen Metern bis zu einigen hundert Metern Wellenlänge. Das entspricht (nach der Gleichung $c = n \cdot \lambda$, oder $n = \frac{c}{\lambda}$) Schwingungszahlen von einer Million bis zu etwa hundert Millionen Schwingungen pro Sekunde. Wie man solche erzeugt, ist hier nicht näher zu erörtern. Jedenfalls aber sind dies keine Lichtwellen im engeren Sinne, denn die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegen zwischen 760—380 $\mu\mu$ und die Schwingungszahlen dementsprechend zwischen etwa 400 bis 800 Billionen pro Sekunde. Da nun die Maxwellsche Hypothese ja aber die Wesensgleichheit beider behauptet, so entsteht die Frage, ob man und wie man diese Hypothese beweisen kann.

Damit stehen wir abermals vor einer Frage, die der früher erörterten nach der Beweisbarkeit der Molekular- und Atomhypothese ganz analog ist. Es hat keinen Zweck, das dort Gesagte hier zu wiederholen. In unserem Falle zweifelt heute kein Sachverständiger mehr an der Richtigkeit der fraglichen Hypothese. Daß das Licht überhaupt eine Wellenerscheinung ist, ist seit Fresnel so evident erwiesen, daß es keinen Zweck mehr hat, noch nach direkten Bestätigungen zu suchen. Zu allem Überfluß ist aber eine solche vor kurzem auch noch ermöglicht worden. Wiener gelang es auf eine überaus einfache und sinnreiche Weise „stehende" Lichtwellen, die durch Reflexion an einer Metallwand erzeugt wurden, direkt auf einer photographischen Platte mit ihren „Knoten" und „Bäuchen" zu fixieren. Damit sind die Wellenlängen geradezu mit dem Zollstab in der Hand meßbar gemacht. Mehr kann beim besten Willen wohl auch der eigensinnigste Skeptiker nicht gut verlangen. Daß es sich aber bei den Lichtwellen des näheren um elektromagnetische Wellen handelt, ist ebenfalls heutzutage so gut wie absolut sichergestellt. Der direkteste Nachweis dafür wäre natürlich erbracht, wenn es gelänge, elektrische Schwingungen von solcher Schwingungszahl herzustellen (400—800 Billionen pro Sekunde), daß man die erzeugten Wellen direkt als Licht sehen könnte. Dies ist nun aus technischen Gründen unmöglich. Die kürzesten bisher von Righi und v. Baeyer erzeugten elektrischen Wellen hatten eine Wellenlänge von 2—3 cm, also Schwingungszahlen von rund 10 Milliarden pro Sekunde. Von da bis zu den sichtbaren Wellen ist es weiter als auf dem Klavier von dem untersten Baßton bis zum obersten Diskantton, nämlich rund 12 Oktaven (auf dem Klavier nur 7). Trotzdem darf man aber den Beweis der Wesensgleichheit der Lichtwellen mit den elektrischen Wellen als erbracht ansehen, weil dieses große Intervall keineswegs völlig unausgefüllt, vielmehr heute von der optischen Seite her bis auf eine noch ganz unbedeutende Lücke fast kontinuierlich ausgefüllt ist.

Um dies zu verstehen, zugleich als Grundlage für spätere Erörterungen, muß man sich zunächst daran erinnern, daß das, was unser Auge als die verschiedenen Farben des Spektrums (von Rot bis Violett) empfindet, physikalisch lediglich der Unterschied in der Wellenlänge bzw. der Schwingungszahl ist. Dem roten Ende des Spektrums kommt die kleinste Schwingungszahl (ca.

400 Billionen) und die größte Wellenlänge (λ = rund 760 $\mu\mu$), dem violetten die größte ziemlich genau doppelt so große Schwingungszahl (ca. 800 Billionen) und dementsprechend rund die halbe Wellenlänge (λ = 380 $\mu\mu$) zu. Das sichtbare Spektrum umfaßt somit, akustisch gesprochen, gerade etwa eine Oktave. (Das Auge ist also im Vergleich zu dem viel größeren Umfange des Ohres — rund 12 Oktaven — erheblich benachteiligt, dafür zeigt aber die Gesichtsempfindung die qualitative Farbenmannigfaltigkeit, wo das Gehör nur den Gradunterschied der Tonhöhe wahrnimmt. Auf diese physiologisch-psychologische Seite der Sache können wir hier nicht eingehen.) Es ist nun schon lange bekannt, daß die von einem glühenden Körper ausgehende Strahlung bei der Zerlegung durch das Prisma keineswegs bloß die im sichtbaren Spektrum vorhandenen Lichtarten (Farben, Wellenlängen) gibt, daß sich das Spektrum vielmehr beiderseits in einer dem Auge zwar unsichtbaren, mit geeigneten Apparaten aber leicht feststellbaren Strahlung fortsetzt. Diese „ultraroten" und „ultravioletten" Strahlen wurden 1800/1801 von Herschel und Ritter entdeckt. Während die ultravioletten Strahlen am leichtesten durch ihre Wirkung auf die photographische Platte nachgewiesen werden können, benutzt man zur Untersuchung des ultraroten Spektrums Apparate, die überhaupt für alle auffallenden Strahlen empfindlich sind, deren Energie in ihnen absorbiert und in Wärme verwandelt wird. Von der Empfindlichkeit dieser Apparate macht man sich eine Vorstellung durch die Angabe, daß man damit leichtlich noch die Strahlungsenergie einer gewöhnlichen Kerze in 100 m Entfernung auf 1 qcm Fläche nachweisen, ja sogar die vom Sirius oder der Wega uns aus der unermeßlichen Ferne des Fixsternhimmels zugestrahlte Energie noch messen kann. Mit Hilfe dieser überaus feinen Instrumente gelang es nun einer Reihe von Forschern (Rubens, Hollnagel, Paschen u. a.), stetig weiter in das ultrarote Spektralgebiet einzudringen und dasselbe schließlich bis λ = 342 μ, d. h. 0,342 mm Wellenlänge zu verfolgen. Auf der anderen Seite hat in erster Linie Lymann sich um die Ausdehnung des ultravioletten Spektralgebietes bis etwa 0,1 λ = 100 $\mu\mu$ verdient gemacht. Ganz neuerdings ist Millikan bis zu 20,2 $\mu\mu$ vorgedrungen, so daß das ganze Gebiet sichtbarer und unsichtbarer Strahlung, das bisher erforscht wurde, rund 14 Oktaven umfaßt. Von den äußersten ultraroten Strahlen Rubens' (342 μ = 0,342 mm) bis zu v. Baeyers kleinsten elektrischen Wellen (2 mm) ist nun nur noch eine kleine Lücke vorhanden, die rund $2^1/_2$ Oktaven ausmacht. An ihrer Ausfüllung in absehbarer Zeit ist wohl kein Zweifel. Es hat sich überdies gezeigt, daß jene längsten ultraroten Wellen mit den kürzesten elektrischen Wellen eine viel größere Ähnlichkeit besitzen, als mit den sichtbaren Strahlen, mit denen sie doch durch einen kontinuierlichen Übergang zusammenhängen. Deutlicher als alle Worte zeigt die beistehende Abb. 11 das Erreichte.

Wer nun absolut Skeptiker bleiben will, mag sich, so lange es noch geht, der noch vorhandenen Lücke getrösten. Sobald man aber zugibt, daß diese angesichts des ganzen übrigen Tatbestandes völlig gleichgültig ist und lediglich mehr die Rolle einer technischen Schwierigkeit spielt, ist

damit die Richtigkeit der Maxwellschen Grundannahme unausweichlich zugestanden und damit ein neues überzeugendes Beispiel geliefert für das, was wir oben in Hinsicht auf den Erkenntniswert physikalischer Hypothesen überhaupt entwickelten. Nun sollte man sich aber füglich doch klar machen, daß es für diese Frage, die Frage nach dem Sinne und der Berechtigung physikalischer Hypothesen überhaupt gar nicht notwendig war, daß wir heute dieses so gut wie völlig geschlossene Bild der elektrischen Strahlung endgültig vor uns haben. Denn es ist offenbar, daß die Maxwellsche Hypothese mochte sie nun bewiesen sein oder nicht, von allem Anfang an nie einen anderen Sinn als eben diesen gehabt hat, und daß es somit eine gänzliche Verschiebung des Sachverhaltes bedeutete, wenn man, solange sie noch nicht bewiesen war, ihr bloß einen „denkökonomischen“ oder „heuristischen“ Wert zugestehen wollte. Es ist mir gerade angesichts dieses Falles stets ein Rätsel gewesen, wie eine so klare Sachlage unter dem Einfluß einer radikalisierten Erkenntnistheorie so gänzlich verkannt werden konnte. War es denn nicht vor 30—40 Jahren genau so gut wie heute denkbar, daß man den kontinuierlichen Übergang von den elektrischen zu den Lichtwellen einmal fände? Und darum allein handelte es sich doch bei der erkenntnistheoretischen Frage. Nicht was wir zufällig schon wissen, sondern was wir eventuell wissen können, steht

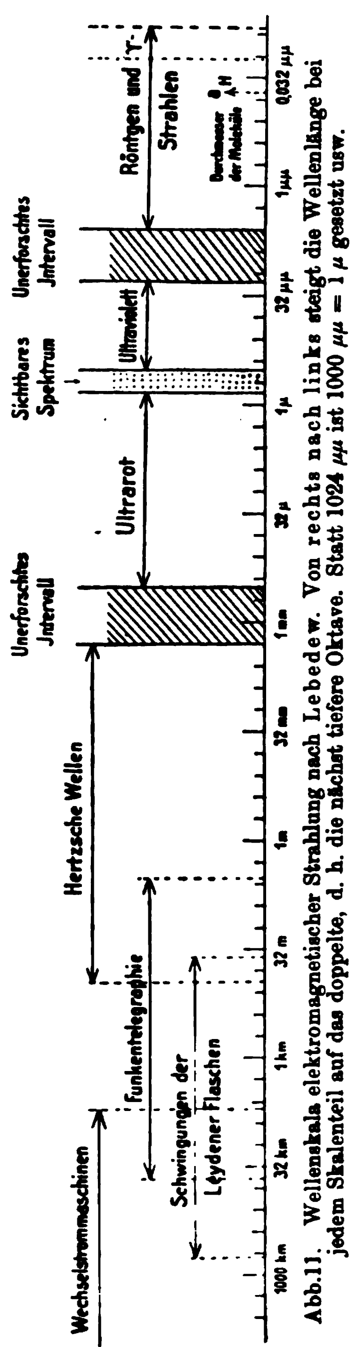


Abb. 11. Wellenskala elektromagnetischer Strahlung nach Lebedew. Von rechts nach links steigt die Wellenlänge bei jedem Skalenteil auf das doppelte, d. h. die nächst tiefere Oktave. Statt 1024 $\mu\mu$ ist 1000 $\mu\mu$ = 1 μ gesetzt usw.

zur Debatte, und daß man das heute wirklich erreichte Wissen einmal würde erreichen können, war damals gerade so klar wie heute.

Maxwells Hypothese hat keinen anderen Inhalt, als den, daß die Lichtwellen der Art nach identisch seien mit elektrischen Wellen. Das ist entweder so oder es ist nicht so. Ist es so, so ist das natürlich auch die einzige „denkökonomische“ Auffassung, denn das Richtige ist immer das „Denkökonomische“ und auch das heuristisch Fruchtbarste. Aber diese beiden Gesichtspunkte reichen an den Kern der Sache überhaupt nicht heran. Wer den Wert der Maxwellschen Hypothese in der Denkökonomie und der heuristischen Fruchtbarkeit sucht, verfährt, wie mir scheint, ähnlich so, wie jemand, der den Wert des Singens in der gesunden Übung der Lungen und der Bauchmuskeln sieht. Wenn irgendeine, so ist die elektromagnetische Lichthypothese geeignet, uns zur Klarheit über das Wesen physikalischer Hypothesen zu verhelfen.

Wir sehen also den eminenten Wert der durch die Bestätigung dieser Hypothese erlangten Erkenntnis darin, daß nunmehr die beiden vorher getrennten Gebiete der Elektrizitätslehre und der Optik ineinander laufen zu einer „Physik des Äthers“, wie man unter Beibehaltung dieses Zankapfels leider sagt, obwohl ersichtlich die „Ätherhypothese“ mit dieser Vereinigung an sich gar nichts zu tun hat. Maxwell hat die optischen Erscheinungen „erklärt“ in dem oben erörterten Sinne, daß er nämlich zeigte, wie als spezielle Folgerungen sich die optischen Gesetze aus dem allgemeinen elektromagnetischen Grundgesetz — den „Maxwellschen Gleichungen“ — ergeben. Mag der Skeptiker um jeden Preis sich nun darauf berufen, daß diese Erklärung uns um nichts klüger mache, da wir nun wieder nicht wüßten, „was die Elektrizität eigentlich ist“. Wir wollen ihm das einstweilen einmal zugeben, uns aber trotzdem die Freude daran nicht nehmen lassen, daß nun doch an die Stelle zweier Rätsel — des Lichts und der Elektrizität — eines getreten ist. Einen anderen Weg zur Lösung der physikalischen Rätsel der Welt als den der Vereinigung mehrerer Probleme zu einem einzigen gibt es, wie schon gesagt, überhaupt nicht. Die kinetische Wärmetheorie und die elektrimagnetische Lichttheorie zeigen uns besser als alle allgemeinen Erörterungen, per exemplum, wohin der Weg der Physik geht.

Es mag hier eingeschaltet werden, daß bereits 14 Jahre vor Maxwell Faraday eine experimentelle Tatsache entdeckte, die den direkten Hinweis auf eine dereinstige Vereinigung der Optik mit der Elektrik enthielt,

nämlich die Drehung der Polarisationsebene des Lichts durch Stoffe, die sich im Magnetfeld befinden. Was das heißt, kann hier nicht im einzelnen erörtert werden. Jedenfalls handelt es sich aber um eine Wechselwirkung zwischen Magnetfeld und Lichtwellen, und das genügte völlig, um einzusehen, daß hinter den elektromagnetischen und den optischen Erscheinungen irgendein Gemeinsames steckt. Aufgeklärt ist dieser Zusammenhang erst in allerneuester Zeit durch die Elektronenhypothese (siehe unten). Der Faraday-Effekt gehört ebenso wie die natürliche „optische Aktivität", (Drehung der Polarisationsebene z. B. durch Quarz oder durch Zuckerlösung) zu denjenigen optischen Erscheinungen, die durch die Maxwellsche Theorie allein noch nicht erklärt werden konnten. Zu diesen Erscheinungen gehören ferner die Farbenzerstreuung des Lichts (Dispersion) und die Gesetze der Lichtaussendung und -Absorption, die wir unter dem Namen „Spektralanalyse" zusammenfassen. Hier handelt es sich überall um Vorgänge, bei denen die Natur der betreffenden Materie, mit anderen Worten, die chemischen Eigenschaften einen maßgebenden Einfluß haben, und bei der Erklärung solcher Erscheinungen versagte einstweilen die Maxwellsche Theorie.

Wie nun aber der Faraday-Effekt schon vor dieser Theorie ganz klar das Problem der Elektrooptik und Magnetoptik aufzeigte, so haben wir in der ganzen Physik überall solche rätselhaften Beziehungen zwischen zwei oder mehr an sich ganz verschiedenen Tatsachengebieten. Allen voran steht der Energiesatz: *Begreiflich ist die Gleichwertigkeit aller der verschiedenen Energieformen nur, wenn ihnen allen letzten Endes etwas Gleichartiges zugrunde liegt.* Die Frage ist nur, worin diese letzte Einheit besteht. Dürfen wir heute auch noch nicht behaupten, daß diese Frage endgültig gelöst sei, so macht der gegenwärtige Bestand der Wissenschaft doch durchaus den Eindruck, als ob wir auf dem besten Wege seien, diese Einheit in absehbarer Zeit zu erreichen.

Wir haben bislang in kurzen Strichen das Bild zu zeichnen versucht, das die Physik und Chemie etwa bis zum Jahre 1895 boten. Es wird nützlich sein, sich die Hauptpunkte hier noch einmal kurz zu vergegenwärtigen. Auf der einen Seite stand zunächst die Mechanik mit ihren sämtlichen Anwendungen, vor allem der Akustik und der Wärmelehre (kinetische Hypothese). Neben dieses älteste Gebiet physikalischer Forschung war jetzt als zweites ebenso oder noch mehr in sich geschlossenes die ‚Physik des Äthers",

d. i. der Elektromagnetismus einschließlich der Optik, getreten, beide zwar durch zahlreiche Übergänge, vor allem durch die Tatsachen der „Wärmestrahlung" miteinander verknüpft, aber doch auch relativ selbständig und unabhängig voneinander. Als drittes großes Gebiet schloß sich die Chemie an, ebenso selbständig und doch ebenfalls wieder durch zahlreiche Übergänge mit beiden anderen verknüpft. — Aber nicht nur in dieser relativen Selbständigkeit und Eigenart der mechanischen, elektromagnetischen und chemischen Vorgänge lag eine schwer zu verdauende Grundtatsache vor, sondern wir entdecken bei näherem Zusehen auch in allen drei Gebieten leicht das Grundgestein der „Fundamentaltatsachen". So ruht beispielsweise die ganze Akustik der festen Körper ebenso wie die Elastizitätstheorie auf der Grundtatsache der elastischen Kräfte, ebenso die ganze Himmelsmechanik, die Lehre vom Pendel, von den Gezeiten usf. auf dem Gravitationsgesetz u. a. m. In der Elektrik und Optik hatte die Maxwellsche Theorie mit dem Vorhandensein z. B. der Farbenzerstreuung einfach zu rechnen und die Werte für den Brechungsexponenten eines Stoffes für die verschiedenen Farben einfach aus der Beobachtung zu entnehmen (s. o.). Und in der Chemie lag erst recht ein System von Tatsachen vor, das von der Theorie überhaupt sozusagen erst ganz dünn überzogen war. Wohl erkannte man in allen ihren Tatsachen das System, wie z. B. in den Elementen das periodische System, aber niemand vermochte zu sagen, warum z. B. Kupfer rot, Zinn dagegen weiß aussieht, oder warum Wasserstoff und Sauerstoff sich leicht, Fluor und Sauerstoff dagegen überhaupt nicht verbinden usf. Überall lagen also solche Grundtatsachen vor und überall zeigte sich in den betr. Erscheinungen die „individuelle Konstante" (spezifisches Gewicht, Atomgewicht, Farbe, spezifische Wärme, Elastizitätsmodul, spezifischer Widerstand, Brechungsexponent, Absorptionsindex usw. usw.) als eine für die fragliche Stoffart charakteristische, aber meist nicht weiter ableitbare Größe, deren Wert eben nur einfach aus der Erfahrung zu entnehmen war. Freilich gilt dies keineswegs für alle Konstanten, es gab vielmehr damals bereits zahlreiche Beziehungen, welche die Konstanten ganz verschiedener Vorgänge miteinander verknüpfen. So ermittelten z. B. schon 1819 Dulong und Petit, daß die spezifische Wärme eines festen Elements seinem Atomgewicht umgekehrt proportional sei; so folgt aus der Maxwellschen Theorie, daß der optische Brechungsexponent gleich der Quadratwurzel aus der Dielektrizitätskonstante sein muß u. a. m. Jede solche Beziehung verlangt dann natürlich eine „Erklärung", weist also, sofern sie nicht wie

die letztgenannte schon selber aus einer Theorie hergeleitet ist, auf eine Theorie hin, aus der sie sich ableiten lassen muß. So ist das Dulong-Petitsche Gesetz später durch Richarz aus der kinetischen Wärmetheorie abgeleitet worden; ähnlich läßt sich die von Wiedemann-Franz festgestellte Proportionalität der elektrischen Leitfähigkeit mit der Wärmeleitfähigkeit aus der neueren Elektronentheorie herleiten. Die weitaus größere Mehrzahl aber bildeten jedenfalls damals und bilden wohl auch noch heute die Fälle, wo eine solche Ableitung nicht möglich ist, wo also entweder eine Beziehung zwischen zwei oder mehr Konstantenwerten einfach als solche festgestellt ist oder aber — und das ist der häufigste Fall — die Konstante überhaupt für sich allein als „brutale Tatsache" dasteht. Auch heute noch vermag niemand zu sagen, warum z. B. Kupfer den und den spezifischen elektrischen Widerstand, Stahl den und den Elastizitätsmodul hat usw.

Im einzelnen würde die Physik und Chemie vor 20 Jahren natürlich noch ein viel verwickelteres Bild zeigen. Diese paar Striche sollten nur eine kurze Andeutung geben. In diese Situation fiel nun in den 1890er Jahren die Entdeckung einer ganz neuen Erscheinungsgruppe, die unser Geschlecht so fremdartig anmuten mußte, wie unsere Großväter 100 Jahre vorher Voltas und Galvanis elektrische Entdeckungen. Es schien, als ob nun die Zukunft, weit entfernt, uns den Schlüssel der bisherigen Rätsel zu geben, ihre Zahl erst recht ins Unermeßliche steigern würde. Diese Erscheinungsgruppe ist die Radioaktivität und alles, was damit zusammenhängt, vor allem die Vorgänge bei der elektrischen Entladung in Gasen. Ich erinnere mich deutlich, welchen Eindruck die ersten Meldungen von Röntgens, Becquerels, Curies u. a. Entdeckungen auf uns damalige Studenten machten. Es war der, daß nun wohl noch das Unglaublichste möglich sei, daß wir weiter vom Ziele seien wie jemals und die Physik sozusagen ganz von vorne anfangen müßte. Aber sehr bald sollte eine bessere Einsicht uns das Gegenteil lehren. Es war der Physik der Ariadnefaden schon in die Hand gegeben, der sie durch das Labyrinth ungeahnter, mit jedem Tage in fabelhafter Fülle sich mehrender Neuentdeckungen hindurchleiten konnte und — das Unerwartete wurde Ereignis: Was als unerhörte neue Komplikation des bisherigen Besitzstandes, als Entdeckung eines völlig neuen Erdteils der Physik sozusagen zuerst erschien, erwies sich als erster und wichtigster Schritt zum Verständnis und zur Vereinheitlichung zahlloser, bis dahin isoliert nebeneinander stehender Probleme: Der besagte Ariadnefaden, die Elektronenhypothese von Lorentz und

Wiechert, bewährte sich nicht nur bei den neuen, sondern fast mehr noch bei den alten Problemen. In ihr laufen zahlreiche Fäden der bisherigen Physik und Chemie aus sämtlichen Gebieten zusammen — das war die Einsicht, die wir in das 20. Jahrhundert schon mit hinübernehmen konnten, und die sich seitdem von Jahr zu Jahr bestätigt hat.

Neben diese Hypothese aber traten seitdem als zwei ebenfalls grundlegende neue Konstruktionen, die Plancksche Hypothese des Strahlungs-(Wirkungs-) Quantums und die Einsteinsche Relativitätstheorie. Auf diesen drei Bogen ruht, bildlich gesprochen, heute der gemeinsame Oberbau der modernen Physik und Chemie. Wir müssen, so schwierig es ist, versuchen, dem Leser auch darüber wenigstens einen ungefähren Überblick zu verschaffen. Wir beginnen mit der Elektronentheorie.

Die Elektronentheorie.

Den ersten Anlaß zur Bildung der hierhin gehörigen Begriffe haben die Erscheinungen der Elektrolyse gegeben. Bekanntlich werden wäßrige Lösungen von Säuren, Basen und Salzen durch den elektrischen Strom zersetzt, z. B. Kochsalz (NaCl s. Abb. 12) in Na und Cl. Die sich abscheidenden Bestandteile nannte Faraday, der zuerst die quantitativen Gesetze der Elektrolyse feststellte (1833), Ionen von ion (gr.) = das Wandernde, und zwar den an die negative Platte, also sozusagen mit dem Strom wandernden Bestandteil, hier Na, das Kation (kata = hinab), den andern, hier Cl, das Anion (ana = hinauf), die Platten der „Elektroden" selbst Kathode und Anode (hodos = Weg). Aus vielerlei, hier nicht näher zu erörternden[45] Gründen war man schon um 1860 zu der Annahme gekommen, daß die Moleküle des „Elektrolyten" (hier NaCl) nicht erst durch den Strom in beide Bestandteile gespalten werden, sondern, daß sie schon bei der Auflösung in Wasser sich teilweise oder alle spalten und der Strom

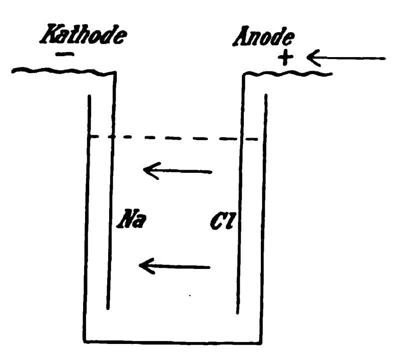


Abb. 12. Elektrolyse von Kochsalzlösung.

oder richtiger: die angelegte Spannung, d. h. das zwischen den beiden Elektroden befindliche Feld lediglich den Transport dieser Bestandteile an die beiden Platten bewirkt. Die Bestandteile selbst, also die Na und Cl-Atome in unserem Falle, sind nämlich als elektrisch geladen vorzustellen, und zwar die Na-Atome positiv ($\overset{+}{Na}$), die Cl-Atome negativ ($\overset{-}{Cl}$). In dem Felde müssen diese sich dann auf die Elektroden zu bewegen und dort angekommen ihre Ladungen mit einem entsprechenden Ladungsquantum der Elektrode neutralisieren. Hierdurch werden sie in gewöhnliche Atome (Na und Cl) verwandelt, und diese erscheinen dann in der üblichen Form, oder gehen, wie sonst aus der Chemie bekannt, sogleich mit dem Wasser oder dem Stoff der Elektrode neue chemische Reaktionen ein. Wesentlich ist, daß die geladenen $\overset{+}{Na}$- und $\overset{-}{Cl}$-Atome etwas ganz anderes als die gewöhnlichen ungeladenen Atome sind. (So sind beispielsweise die Cl-Atome im gewöhnlichen neutralen Zustande bekanntlich gelblichgrün, während die $\overset{-}{Cl}$-Atome in der Kochsalzlösung offenbar farblos sind, ebenso sind neutrale Kupferatome rot, die geladenen Kupferatome der gespaltenen oder „dissoziierten" Lösung z. B. von $Cu\,Cl_2$ dagegen sind blau; die gleiche Farbe zeigen dieselben in allen übrigen Kupfersalzlösungen). Die ganze hier rein dogmatisch vorgetragene, hauptsächlich von *Clausius* begründete und später von *Arrhenius*, *Ostwald* u. a. durch zahlreiche zwingende experimentelle Gründe aufs beste gestützte Theorie heißt die *Theorie der elektrolytischen Dissoziation*. Die geladenen Atome nennt man in engerem Sinne *Ionen*. *Ein Ion ist also ein Atom bzw. eine Atomgruppe* (z. B. $\overset{+}{K}$, $\overset{-}{NO_3}$) *mit einer ganz bestimmten elektrischen Ladung*. Der „Strom" innerhalb des Elektrolyten besteht danach lediglich in der Wanderung der Ionen. Diese transportieren die Elektrizität an die Platten; der Strom ist mithin ein sog. *Konvektionsstrom* (convehi = mitfahren). Die Elektrizität wird also durch einen materiellen Träger von einer Stelle zur anderen gebracht, während der „Strom" im Drahte, wie es scheint, ohne jeglichen Transport von Materie vor sich geht.

Das von *Faraday* gefundene quantitative *Grundgesetz der Elektrolyse* läßt sich nun so aussprechen: *Jedes Jon transportiert, gleichviel von welcher Art es ist, stets die gleiche Elektrizitätsmenge oder aber ein Viel-*

faches dieser Menge. Die kleinste Menge transportieren die einwertigen[46] Ionen, z. B. H, Na, K, Cl, NO_3 u. a., die zweiwertigen, z. B. Ca, Zn usf. doppelt so viel usw. Diese kleinste Elektrizitätsmenge heißt nach *Helmholtz* das *elektrische Elementarquantum* und wird mit dem Buchstaben ε bezeichnet. Die absolute Größe von ε läßt sich aus elektrolytischen Versuchen leicht berechnen, wenn man die Zahl der in einem abgemessenen Quantum Stoff vorhandenen Atome, mit anderen Worten die Loschmidtsche Zahl N kennt. *Umgekehrt führt daher jede Bestimmung von ε auch zu einem Wert von N*[47].

Soweit war die Theorie schon um 1890 allgemein angenommen. Das Wesentliche an der modernen Erweiterung dieser Theorie ist nun zweierlei:

1. Es gibt Ionen, d. h. Atome bzw. Atomgruppen (Moleküle) mit $\pm 1\,\varepsilon, 2\,\varepsilon, 3\,\varepsilon \ldots$ Ladung auch außerhalb der elektrolytischen Flüssigkeiten. Unter geeigneten Umständen können wahrscheinlich alle Atome bzw. Moleküle „ionisiert" werden, vor allem gilt dies für *gasförmige* Stoffe. Die gesamten, überaus verwickelten Erscheinungen der *elektrischen Entladungen in Gasen* (Funken, Bogenlicht, Glimmlicht, Geißlersche Röhren u. a. m.) sind so verständlich und größtenteils auch quantitativ berechenbar geworden. Ganz besonders aber gibt es Ionen bei den Vorgängen der *Radioaktivität.* Wir kommen darauf sogleich zurück.

2. *Das negative, elektrische Elementarquantum* $(-\varepsilon)$ *ist nicht notwendig an ein wägbares Atom gebunden, es kann frei existieren,* und man nennt es als solches ein *Elektron.* Dieses Elektron ist also sozusagen ein Elektrizitätsatom, die Elektrizität erscheint hier selbst als eine Art von Stoff. Da man aber ferner keine entsprechenden positiven „Elektronen" kennt, so folgert man, daß die „positive" Ladung stets nur durch das Wegnehmen eines $-\varepsilon$ entsteht, die Bezeichnungen positiv und negativ somit eigentlich gerade verkehrt gewählt sind. *Das Atom ist nach dieser Auffassung als ein mehr oder minder verwickeltes System anzusehen, dessen Hauptmasse ein positiver „Kern" ausmacht, während eine gewisse Anzahl negativer Elektronen von verschwindend kleiner Masse diesen umgeben,* sei es nun, daß sie ruhen oder sich etwa *wie die Planeten um die Sonne um ihn herum bewegen.* Im

Normalzustand ist ein solches System elektrisch neutral, d. h. die positive Ladung des Kernes ist gerade gleich der Summe der Elektronenladungen. Die „Ionisierung" besteht darin, daß das System eins oder mehrere Elektronen entweder hinzugewinnt oder verliert, so daß ein Überschuß negativer bzw. positiver Ladung vorhanden ist. Bei der Dissoziation beispielsweise



Abb. 13. Kathodenstrahlröhre. *a* ist die Kathode. Das Aluminiumkreuz *b* wirft einen scharfen Schatten *d* als Beweis der geradlinigen Fortpflanzung der Strahlen.

des NaCl-Moleküls raubt das Cl dem Na ein Elektron, so daß jenes mit $-\varepsilon$, dieses mit $+\varepsilon$ Ladung hinterbleibt.

Die experimentellen Grundlagen aller dieser Hypothesen bilden vor allem die Untersuchungen über die sog. Kathodenstrahlen, daneben die Erscheinungen der Radioaktivität. Unter Kathodenstrahlen versteht man die zuerst von Hittorf entdeckten, später von Lenard genauer untersuchten eigentümlichen Strahlen, die von der Kathode (dem negativen Pol) eine sehr stark ausgepumpten Geißlerschen Röhre ausgehen (s. Abb. 13). Auf Grund zahlreicher Tatsachen muß man schließen, daß wir es bei ihnen nicht mit Lichtwellen, sondern mit einem Schwarm von der Kathode ausgeschleuderter negativer Teilchen (Korpuskeln) zu tun haben. Die Geschwindigkeit derselben sowie ihre spezifische Ladung, d. h. das Verhältnis von Ladung zu Masse (e/m) läßt sich aus Versuchen über die Ablenkung der Strahlen in einem magnetischen oder elektrischen Felde (Abb. 14 u. 15) bestimmen.

Wegen der grundsätzlichen Bedeutung, die diesen Bestimmungen zukommt, ist es nötig, dabei einen Augenblick zu verweilen. Es wird auch dem der Physik

Fernerstehenden einleuchten, daß die Größe der Ablenkung solcher Teilchen in einem elektrischen bzw. magnetischen Felde von folgenden Größen abhängt: 1. der Ladung e des Teilchens; 2. seiner Masse (Trägheit) m; 3. seiner Geschwindigkeit v; 4. der Stärke des elektrischen bzw. magnetischen Feldes E bzw. F; 5. der Strecke l, die das Teilchen im Felde zu durchfliegen hat. Hierzu kommt 6. bei der magnetischen Ablenkung noch diejenige Größe, welche für die Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus überall charakteristisch ist, die Konstante c (s. S. 96). Von den genannten 5 bzw.

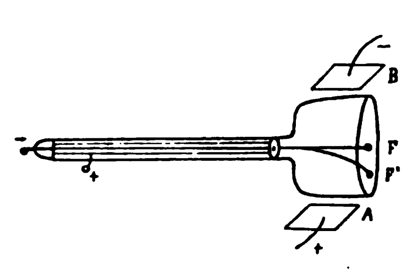


Abb. 14. Elektrische Ablenkung der Kathodenstrahlen (schematisch).

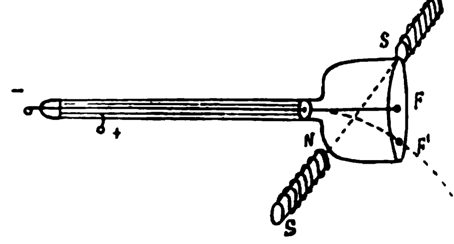


Abb. 15. Magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen (schematisch).

6 Größen sind nur 4, 5 und 6 ohne weiteres bekannt. Die beiden Ablenkungen hängen dann außerdem nur noch von den drei unbekannten Größen e, m und v ab. Nun kommen aber, wie die Rechnung zeigt, in den Formeln e und m und in der Verbindung e/m vor. Man kann daher durch Messung beider Ablenkungen die Unbekannten e/m und v ermitteln.

Die Bestimmung der Geschwindigkeit ergibt, daß dieselbe je nach der Erzeugungsweise zwischen etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit wechselt. e/m dagegen erweist sich als ein von allen Versuchsbedingungen (Material der Kathode, Druck in der Röhre, Spannung u. a.) völlig unabhängiger Wert, dessen Betrag aber den entsprechenden der elektrolytischen Ionen (z. B. $\overset{+}{\mathrm{H}}$) weit übersteigt. Hieraus ist zu schließen, daß wir es erstens stets mit Teilchen derselben Art zu tun haben und daß diese Teilchen zweitens keine gewöhnlichen Atome sein können. Denn da weiter aus guten Gründen[48] angenommen werden muß, daß ihre Ladung ebenso groß wie die der elektrolytischen einwertigen Ionen, also ein Elementarquantum ε ist, so kann der erheblich größere Wert von e/m (1800 mal größer als bei $\overset{+}{\mathrm{H}}$) nur durch eine entsprechend kleinere Masse verursacht sein. Wir werden also zu der Annahme gezwungen, daß es solche Teilchen gibt, die ganz erheblich kleiner sind als ein H-Atom und die, da sie ja aus

jedem Kathodenmaterial herauskommen können, am einfachsten als Unterbestandteile aller Arten von Atomen aufgefaßt werden können, wie das in dem obigen Bilde bereits ausgeführt ist. Neben diesen Kathodenstrahlen kennt man in den „Kanalstrahlen" und „Anodenstrahlen" auch Strahlen positiver Teilchen. Bei diesen hat jedoch e/m stets Werte, die denen der elektrolytischen Ionen entsprechen, wir haben es in ihnen also ebenfalls mit solchen Ionen, wie $\overset{+}{H}$ usw. zu tun. — Treffen Kathodenstrahlen auf entgegenstehende Stoffe, z. B. Platin, so werden die Elektronen darin „gebremst" und dabei entstehen im umgebenden Raume Wellen von außerordentlich kurzer Dauer und kleiner Wellenlänge. Das sind die Röntgenstrahlen, die demnach als ultraviolettes Licht von einer weit jenseits des sichtbaren Spektrums liegenden Wellenlänge ($< 1\ \mu\mu$) zu betrachten sind.

Alle diese drei Arten von Strahlen, bewegte (positive) Ionen, bewegte Elektronen und Röntgenwellen begegnen uns nun auch bei den Erscheinungen der Radioaktivität. Man nennt sie hier α-, β-, γ-Strahlen, und zwar entsprechen die α-Strahlen den Kanal- und Anodenstrahlen, die β-Strahlen den Kathodenstrahlen und die γ-Strahlen den Röntgenstrahlen. Die Grundtatsachen der Radioaktivität und die Geschichte ihrer Entdeckung durch Becquerel und die Curies dürfen hier wohl als allgemein bekannt angenommen werden. Es kommt hier wesentlich nur auf ihre theoretische Deutung an. Die Frage, woher die geheimnisvolle Energie der radioaktiven Strahlung kommt, die, gemessen über die ganze Zeitdauer der Strahlung, schließlich ganz enorme Beträge erreicht (1 g Radium produziert im ganzen rund 3 Milliarden Kalorien), hat zuerst den Physikern sehr viel Kopfzerbrechen gemacht. Man hat an alles Mögliche, an Einströmung von Energie aus dem „Äther" in die Atome der radioaktiven Substanzen, an Ungültigkeit des Entropiesatzes und dergleichen gedacht, bis schließlich als die höchst wahrscheinlich richtige Lösung sich ergeben hat, daß die fragliche Energie aus dem Inneren der Atome selbst stammt. Nach der heute allgemein als zutreffend anerkannten und durch zahlreiche Experimentaluntersuchungen gestützten Zerfallstheorie von Rutherford explodieren sozusagen die Atome radioaktiver Substanzen, wobei einerseits die sog. α-Teilchen (mit +-Ladung), andererseits β-Teilchen, d. i. negative Elektronen ausgeschleudert, gleichzeitig aber (sekundär) γ-Strahlen (Röntgenwellen) erregt werden. Die ausgesandten

α-Teilchen haben sich in allen bisher untersuchten Fällen als Heliumionen mit 2 ε Ladung ($\overset{++}{He}$) erwiesen[49]. Es steht daher außer Zweifel, daß Heliumatome bzw. -Kerne ein Unterbestandteil des Radiumkerns u. a. Atomkerne sind. Verliert ein Radiumatom (Atomgewicht = 226,0) ein α-Teilchen, so hinterbleibt, da das Atomgewicht des Heliums = 4 ist, ein Atom vom Gewicht 226,0 — 4 = 222,0. Das ist das Atom der sog. Radiumemanation, eines „Edelgases", das aber nun selbst wieder radioaktiv ist und sich nach einer ganzen Reihe weiterer Verwandlungen schließlich nach Verlust von im ganzen 5 α- und 4 β-Teilchen endlich in ein Atom vom Gewicht 206,0 (Radium G) das höchstwahrscheinlich mit dem Blei chemisch identisch ist[50], ist, umwandelt. Die neueren Untersuchungen haben ergeben, daß jede solche Umwandlung wahrscheinlich nur entweder eine α- oder eine β-Umwandlung ist, d. h. daß dabei nur je ein α- oder ein β-Teilchen ermittiert wird, im letzteren Falle ist dann (sekundär) damit zugleich die Erregung von γ-Strahlung verbunden. Obwohl nun das β-Teilchen (Elektron) so gut wie keine Masse mit sich führt, wird doch durch den Verlust desselben die Natur des Atoms ebenso völlig geändert, wie durch den Verlust des α-Teilchens, und zwar gilt das Soddy-Fajanssche Verschiebungsgesetz: Jede α-Umwandlung setzt das Element um zwei Kolonnen im periodischen System herunter (vgl. Radiumemanation), jede β-Umwandlung setzt es um eine Kolonne herauf.

Ehe wir die theoretische Bedeutung dieser ganzen Vorstellungen weiter verfolgen, müssen wir einige experimentelle Errungenschaften hier einschieben. Es gelang zuerst J. S. Townsend und J. J. Thomson, mit Hilfe einer experimentellen Bestimmung ε und damit indirekt die Loschmidtsche Zahl (N) zu ermitteln. Der Weg ist etwa folgender: Es ist schon lange bekannt, daß man die Luft beträchtlich unter den Taupunkt abkühlen kann, ohne daß die Kondensation des in ihr enthaltenen Wasserdampfes zu den bekannten Nebeltröpfchen erfolgt, vorausgesetzt, daß die Luft völlig staubfrei ist, da die Staubteilchen als „Kondensationskerne dienen. Die Kondensation tritt jedoch trotzdem ein, wenn die Luft ionisiert ist, und zwar, wie Thomson zuerst durch besondere Versuche zeigte, zunächst an den negativen, dann bei stärkerer Unterkühlung auch an den positiven Ionen. Indem Thomson nun in ionisierter Luft die Nebeltröpfchen vermittels einer genial ausgedachten Methode zählte, zählte er gleichzeitig die Ionen, die ihnen als Kondensationskerne dienten und konnte dann aus einer direkten Messung ihrer Gesamtladung die des einzelnen Ions (also ε) durch einfache Division finden. — Neben diese Thomsonsche Zählung, die später mit verbesserten Hilfsmitteln noch öfter wiederholt ist und Werte von

N angegeben hat, die vorzüglich mit dem sonst gefundenen Werte ($27,5 \cdot 10^{18}$) übereinstimmen, traten bald zwei weitere Bestimmungen von ε (und damit N). Regener sowie Rutherford-Geiger vermochten die Anzahl der von einem kleinen Quantum radioaktiver Substanz in einer gewissen Zeit ausgeschleuderten α-Teilchen direkt zu bestimmen, indem sie von der gesamten Strahlung einen sehr kleinen, aber genau meßbaren Bruchteil durch ein winziges Loch in einem Bleiklotz gehen ließen und nun den Erfolg jedes einzeln hindurch gelangenden Heliumgeschosses (α-Teilchens) beobachteten. (Die beiden Methoden unterscheiden sich nur in dem Empfangsapparat). Alles bisher Dagewesene aber übertraf C. T. R. Wilson, dem es gelang, die Bahnen solcher einzelnen α- und β-Teilchen geradezu zu photographieren. Er bediente sich dazu wieder der Kondensation des Wasserdampfes an den Ionen in der Luft. Jedes einzelne die Luft durchquerende α- bzw. β-Teilchen ionisiert die Luftmoleküle (wahrscheinlich durch Zertrümmerung derselben) und an den erzeugten Ionen kondensiert sich eventl. der Wasserdampf. Wilsons Kunstgriff bestand darin, die zur Kondensation führende Abkühlung und die Beleuchtung im selben Moment auszuführen und so den augenblicklichen Zustand der Luft festzuhalten. Umstehende Seite zeigt in Abb. 16 ein Radiumkorn, von dem nach allen Seiten die α-Strahlen ausgehen. Abb. 17 zeigt unten einen einzelnen α-Strahl, an dem das eigentümlich geknickte Ende auffällt, oben die Bahn eines β-Teilchens mit einer charakteristischen perlschnurartigen Anordnung der Wassertröpfchen. Abb. 18 endlich zeigt die Bahn eines schmalen Bündels Röntgenstrahlen in Luft (von unten nach oben). Man sieht deutlich, wie aus den Luftmolekülen die Elektronen (β-Teilchen), sofort kenntlich an der charakteristischen Form der Bahn, nach allen Seiten herausfliegen. Angesichts dieses glänzenden Ergebnisses ist ein Zweifel an der Existenz aller dieser vordem doch recht hypothetischen Teilchen wohl kaum mehr möglich.

Wir fügen hier noch hinzu, daß durch verwandte Methoden auch Millikan und Ehrenhaft zu neuen Bestimmungen für ε (und N) gelangten. Die besten dabei von Millikan erhaltenen Werte (s. S. 93) stimmen fast genau mit dem Werte $N = 27,6 \cdot 10^{18}$ überein. Abweichend von allen früheren Ergebnissen hatte Ehrenhaft später an suspendierten Körperchen in Luft Ladungen beobachtet, die erheblich kleiner als ε sind, nach seinen Angaben bis 1000mal kleiner. Dieses Ergebnis beruht jedoch, wie Regener jüngst überzeugend nachgewiesen hat, auf einer falschen Berechnungsmethode der Beobachtungen, die zwar bei größeren Teilchen richtige Werte der Größe derselben, bei kleineren aber zu große Werte des Radius und damit zu kleine Werte der Ladung ergibt. — Unaufgeklärt dagegen ist bislang ein anderes Ergebnis von Ehrenhaft, die Erscheinung der sog. Photophorese. Ehrenhaft fand[51], daß feine Teilchen verschiedener Substanzen in einem Lichtstrahl sich entweder in der Richtung des Strahls oder diesem entgegen bewegen (positive und negative Photophorese). Nach Maxwells Theorie sollte nur die erstere Bewegung eintreten infolge eines von den Lichtwellen ausgeübten Druckes (Lichtdruck), der auch nach Lebedews Versuchen tatsächlich existiert. Die von Ehrenhaft in den genannten Fällen beobachtete Wirkung ist aber erstens

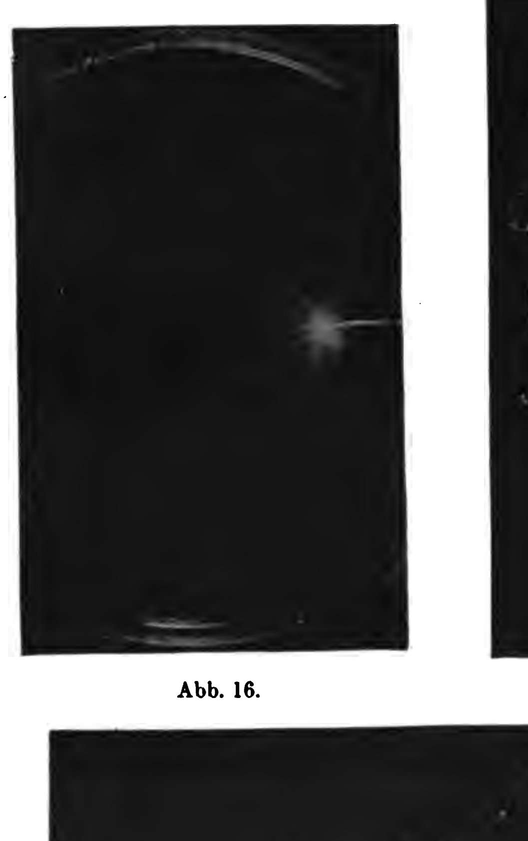


Abb. 16.



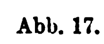


Abb. 17.



Abb. 18.

viel zu groß und zweitens kann sie sogar negativ sein. Hier liegt ein noch ungeklärtes Problem vor.

Wir wenden uns nun zu der theoretischen Betrachtung zurück und knüpfen zu dem Zweck an die soeben erwähnte eigentümliche Knickung mancher α-Strahlen auf Wilsons Photographien an. Mit ihr im Zusammenhang stehen „Streuungs"-Erscheinungen, welche beim Durchgang der α-Strahlen durch andere Stoffe, z. B. dünne Metallfolien, zu beobachten sind. Legen wir das oben skizzierte „Atommodell" zugrunde, wonach um einen positiven Kern negative Elektronen sozusagen als Planeten kreisen, so lassen sich die fraglichen Erscheinungen, wie zuerst Rutherford und G. Darwin gezeigt haben (1913/14) quantitativ erklären, wenn man annimmt, daß der vom Atom „eingenommene" Raum im wesentlichen leer ist, ähnlich wie der Raum, den das Planetensystem einnimmt. Kern und Elektronen sollen also mit anderen Worten sehr klein im Verhältnis zu ihren gegenseitigen Abständen sein. Die angeführten Erscheinungen sind dann so zu verstehen, daß die durch dieses System im Raume verteilter elektrischer Ladungen hindurchfliegenden α-Teilchen im allgemeinen von den Elektronen nur geringfügige Ablenkungen erfahren, daß sie dagegen hin und wieder stark aus ihrer Bahn gedrängt werden, wenn sie zufällig sehr nahe auf den Kern eines Atoms zufliegen. Auf Grund der Messungsresultate läßt sich dann auch ein Anhalt dafür gewinnen, wie groß die Kerne sind und wie stark die Kernladung ist. Für die Größe ergibt sich als obere Grenze etwa 1—0,1 Billionstel cm (der Kern kann aber auch noch kleiner sein (s. u. S. 122), für die Ladung, gemessen in Elementarquanten ε, erhält man eine Zahl, die nahezu gleich dem halben Atomgewicht ist, nur bei Wasserstoff ergibt sie sich gleich 1, also gleich dem Atomgewicht. Nach van den Broek (1913) ist dies Ergebnis nun so zu deuten, daß die Kernladung allgemein bei allen Elementen einfach gleich der „Ordnungszahl" des Elements, d. h. gleich seiner Nummer im periodischen System ist (H = 1, He = 2, Li = 3 usw.). Ebenso groß muß dann auch die Zahl der den Kern umgebenden Elektronen sein. Dies Ergebnis hat sich im weiteren Verlaufe als ein fundamental wichtiger Satz erwiesen, auf den wir noch oft zurückkommen. Wir knüpfen nun an das vorhin erwähnte Soddy-Fajanssche Verschiebungsgesetz wieder an. Aus der Tatsache, daß die radioaktive Umwandlung ein Element in ein völlig anderes aus einer anderen Kolonne des

Systems überführt, muß nach dem eben Gesagten geschlossen werden, daß die Radioaktivität in einer Umänderung der Kernladung besteht. Mit dieser zugleich ändert sich dann automatisch auch die gesamte Konfiguration der äußeren Elektronen. Auch bei einer β-Umwandlung also stammt das ausgeschleuderte Elektron nicht aus diesen äußeren Teilen (das ergäbe nur ein positives „Ion", wie $\overset{+}{K}$ oder $\overset{++}{Ca}$), sondern aus dem Kern, und der Verschiebungssatz erklärt sich so höchst einfach: Verlust eines α-Teilchens (He-Kern mit 2 ε positiver Ladung) bedeutet eine Erniedrigung der „Ordnungszahl" um 2 Einheiten, Verlust eines ε dagegen eine Erhöhung derselben um 1 Einheit.

Hieraus folgt nun aber weiter das sehr merkwürdige Ergebnis, daß ein radioaktives Element, nachdem es etwa zunächst ein α-Teilchen, dann aber zwei β-Teilchen verloren hat, wieder an dieselbe Stelle im periodischen System kommt, obwohl sein Atomgewicht unterdessen um 4 kleiner geworden ist, weil es dann ja wieder dieselbe Kernladung, d. h. Ordnungszahl hat, wie vorher. Es ergibt sich so der Begriff der isotopen Elemente, d. h. Elemente, die bei verschiedenem Atomgewicht sich doch in ihren sämtlichen chemischen, sogar den spektroskopischen Eigenschaften so völlig gleichen, daß man sie chemisch nicht voneinander trennen kann. Dieser Begriff erweitert sich noch dadurch, daß neben der Uran-Radiumreihe noch zwei andere derartige Umwandlungsreihen bekannt sind (Thorium- und Aktiniumreihe), deren Glieder mit den entsprechenden Gliedern der anderen Reihen größtenteils in diesem Sinne isotop sind, so daß an einer bestimmten Stelle jetzt eine ganze „Plejade" chemisch nicht unterscheidbarer, aber in radiologischer Hinsicht, d. h. im Aufbau des Kerns, verschiedener Elemente verschiedenen Atomgewichts, vereinigt ist (z. B. RaA, RaC^1 und RaF (Polonium), ThA und C^1, Akt A und C^1). Experimentell hat sich diese Auffassung bis zu einem gewissen Grade bestätigen lassen durch den Nachweis, daß das aus Uranmineralien gewonnene Blei, welches hypothetisch als Endpunkt der Radiumreihe (Ra G) anzusehen ist (s. o.), tatsächlich ein von dem gewöhnlichen Blei verschiedenes Atomgewicht besitzt (206,1 gegen 207,1), wonach letzteres also als isotope Mischung von Elementen mit teilweise höherem Atomgewicht als 206,1 anzusehen wäre (s. die Tabelle am Schluß). — Andererseits beachte man, daß Elemente, die sich nur um ein β-Teilchen unterscheiden, bei gleichem Atomgewicht völlig verschieden sind (Isobare Elemente).

Ganz neuerdings sind weitere sehr bemerkenswerte Fortschritte nach dieser Richtung hin einerseits durch Rutherford, andererseits durch Thomsons Schüler Aston erzielt worden. Nach Rutherfords Ergebnissen ist es sehr wahrscheinlich, daß die α-Teilchen radioaktiver Stoffe (vor allem die sehr schnellen des RaC[1]) imstande sind, im günstigsten Falle bei zentralem Stoß aus den Kernen anderer Atome Unterbestandteile derselben „herauszuschießen", und zwar ergaben sich in mehreren Fällen, so z. B. bei Stickstoff, Wasserstoffkerne ($\overset{+}{H}$) als solche Unterbestandteile. Daß es sich um solche handelt, war zunächst aus der erheblich größeren „Reichweite" dieser durch die α-Strahlung erzeugten einzelnen sekundären Strahlen zu schließen. Später hat R. auch durch Bestimmung der elektrischen und magnetischen Ablenkung (vgl. S. 110) den für $\overset{+}{H}$ geltenden Wert e/m bestätigt gefunden. — Eben diese letzte Methode nun, die genaue Bestimmung von e/m, führte Aston zu ganz ungeahnten Erfolgen. Es gelang ihm, diese schon früher von J. J. Thomson bei Kanalstrahlen (s. o.) ausgeführten Messungen so zu verfeinern, daß auch sehr kleine Unterschiede der Werte e/m sich noch deutlich durch die verschiedene Größe der magnetischen und elektrischen Ablenkung kundtaten. Die abgelenkten Strahlenbündel werden dabei photographisch fixiert. Dabei zeigte sich nun das überraschende Ergebnis, daß bei zahlreichen Elementen statt eines zu erwartenden schwarzen Fleckes (als Spur des abgelenkten Strahls) mehrere dicht nebeneinander liegende auftreten und daß diese genau ganzzahligen Werten der Atomgewichte entsprechen. Bei dem Edelgas Neon beispielsweise, welches das Atomgewicht 20,2 hat (O = 16), fanden sich Ablenkungsflecke, welche genau m = 20 und m = 22 entsprechen, während bei m = 20,2 keine Schwärzung eintritt. Hieraus ist mit einer an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit der Schluß zu ziehen, daß das Neon aus zwei isotopen Elementen vom At. Gew. 20 und 22 besteht. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei Chlor (bisher At. Gew. = 35,37, nach Aston Gemisch aus Cl_{35}, Cl_{37} und vielleicht noch Cl_{39}), Brom, Bor, Silicium u. a., während z. B. Helium, Fluor, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor u. a. sich als „reine" Elemente erwiesen (vgl. Abb. 19). Das sind aber gerade solche, denen schon bisher ein fast genau ganzzahliges Atomgewicht zukam. Es zeigt sich somit, daß die Isotopie keineswegs auf die radioaktiven Elemente höchsten Atomgewichts beschränkt ist. Daneben aber eröffnen sich weitere theoretische Ausblicke von ungeahnter Tiefe. Denn wenn einesteils durch Ruther-

fords Forschungen es wahrscheinlich gemacht ist, daß der Wasserstoffkern ($\overset{+}{H}$) ein Unterbestandteil des Stickstoffkernes und wahrscheinlich auch anderer Kerne ist, wenn andererseits alle Atomgewichte in Wahrheit ganzzahlig sind, so gewinnt die alte von dem englischen Arzt Prout schon 1815 ausgesprochene, später aber wegen der anscheinenden Nichtsganzzahlig-

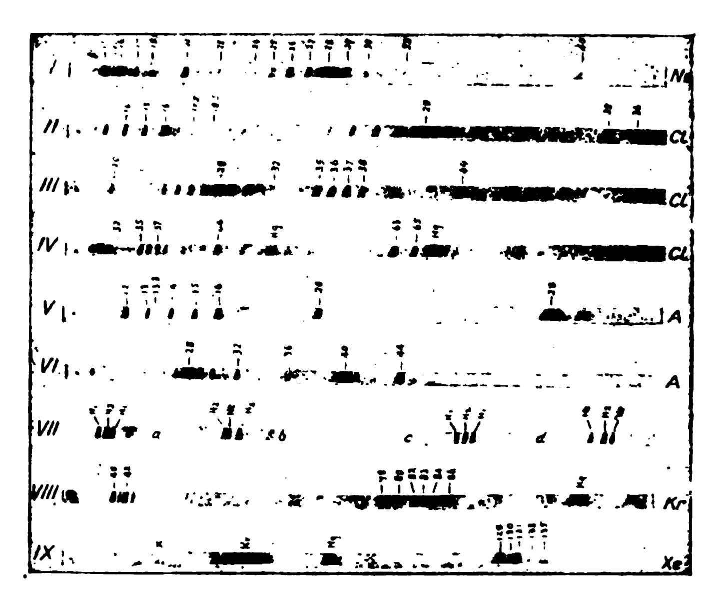


Abb. 19. Massenspektogramme von Aston für Neon, Chlor, Argon, Krypton und Xenon. (Aus einem Aufsatz von Swinne in den Naturwissenschaften, 1920. Verlag von J. Springer, Berlin.)

keit der Atomgewichte wieder aufgegebene Hypothese ein ganz neues Gesicht, daß Wasserstoff das Urelement sei, auf das alle anderen letztlich zurückführbar wären. Zum mindesten erscheint die Frage schon heute in nächste Nähe gerückt, ob und wie wir uns etwa den Aufbau der höheren Kerne aus $\overset{+}{H}$-Kernen, $\overset{++}{He}$-Kernen und Elektronen vorstellen können. Auf diese gegenwärtig im Vordergrund des Interesses stehenden Dinge näher einzugehen, müssen wir uns hier leider versagen[52]. Jedenfalls aber ersieht man sogleich, daß wir dem Problem der Einheit des Stoffes damit ein ganz erhebliches Stück näher auf den Leib gerückt sind, als man sich noch vor wenigen Jahren hat träumen lassen. Es darf wohl schon heute

behauptet werden, daß die volle Einsicht in dieses Problem nur noch eine Frage vielleicht kurzer Zeit ist.

Eine weitere Folge von erheblichem philosophischem Interesse ist die nunmehr klar vorliegende Notwendigkeit, den Begriff des chemischen „Elements" neu zu definieren. Wir erinnern hierzu an das im Anfang Gesagte. Es steht der Wissenschaft nunmehr die Wahl zwischen zwei Bezeichnungsverfahren (nur um solche handelt es sich) offen. Entweder können wir, wie Paneth vorschlägt, als Element einen Stoff definieren, dessen Atome sämtlich gleiche Kernladung und daher auch Ordnungszahl haben. Dann umfaßt der Begriff des „Elements Chlor" also z. B. die zwei bzw. drei Isotopen Cl_{35}, Cl_{37} (Cl_{39}?) und wir können dieses als „Mischelement" den „reinen" Elementen, wie z. B. Fluor (F = 19) oder Phosphor (P = 31) oder Cl_{35}, gegenüberstellen. Oder aber wir können, wie Fajans will, den Begriff „Element" nur auf diese reinen Komponenten beziehen und Gemische von Isotopen, wie das gewöhnliche Chlor oder Blei als „Elementtypen" oder „Plejaden" oder sonstwie bezeichnen. Es wird gut sein, wenn man sich bald darüber verständigt, ich persönlich halte den Panethschen Vorschlag für zweckmäßiger, weil er der historisch einmal eingebürgerten Bezeichnung sich zwangloser anschließt[82].

Im übrigen besteht die theoretische Bedeutung der geschilderten Forschungen vor allem darin, daß sie uns zwingen, schon ziemlich spezialisierte Vorstellungen über das Innere der Atome zu entwickeln, deren Prüfung an Hand der Erfahrung dann wie überall den weiteren Fortgang der Erkenntnis bringen muß. Gleichzeitig damit muß notwendig die Frage nach der Natur der chemischen „Affinitätskräfte" in den Kreis dieser Betrachtungen einbezogen werden. Wenn zwei Elemente bei verschiedenem Atomgewicht, d. h. verschieden gebautem Atomkern, der ja im wesentlichen Träger der Masse des Atoms ist, sich doch chemisch völlig gleichen, auch spektralanalytisch nicht zu unterscheiden sind, so folgt, daß die letztgenannten Eigenschaften lediglich durch die den (positiven) Atomkern umgebenden Elektronen bedingt sein müssen. Hiermit ist die Physik zu der schon von Berzelius, wenn auch in primitiver Form, ausgesprochenen Hypothese zurückgekehrt, daß die chemischen Valenzkräfte im wesentlichen elektrischer Natur sind. Um die weitere Verfolgung dieses Gedankens haben sich mit mehr oder minder glücklichen Erfolgen zahlreiche neuere Forscher bemüht (Stark,

Kossel[53] u. a.). Wir können hier nicht näher darauf eingehen, sondern wollen nur auf eine andere Seite der Sache ausdrücklich hinweisen. Nimmt man die fraglichen oder ähnliche Vorstellungen an, so heißt das, daß man jedenfalls die chemischen (und spektroskopischen) Eigenschaften eines Elements bis zu einem gewissen Grade trennen kann von denjenigen Eigenschaften, welche durch die Beschaffenheit des Atominneren bedingt sind, wozu die Masse, die radioaktiven Eigenschaften und die Röntgenstrahlaussendung (s. S. 130) gehören. Ganz allgemein gesprochen aber würde sich ergeben, daß überhaupt alle Eigenschaften eines Elements nunmehr als Folgen eines Systems überaus verwickelter Vorgänge und Teilbedingungen aufzufassen wären, die bei verschiedenen Elementen teilweise gleich und umgekehrt bei „gleichen" (isotopen) Elementen doch zu einem Teile verschieden sein können. Diese ganze Auffassung macht also das „Atom" zu einem überaus dehnbaren, relativen Begriff, der alte Begriff eines starren, mit ganz bestimmter Masse (Trägheit, Gravitation) und unabänderlichen Eigenschaften ein für allemal begabten Kügelchens ist völlig verschwunden. Statt seiner haben wir das überaus verwickelte System elektrischer Ladungen und Felder in fortdauernder Bewegung und Veränderung. So angesehen wird man nun die Frage leicht verstehen, die sich jetzt erheben muß: *Ob dann nicht auch die Masse des Atoms als eine unter seinen vielen Eigenschaften in der gleichen Weise lediglich als Funktion dieses verwickelten Bedingungskomplexes anzusehen ist.* Wir kommen damit auf ein Problem, das einer gesonderter Besprechung wert ist, das Problem

Elektrizität und Masse.

Die Entdeckung der Kathodenstrahlenelektronen mit ihrem, allen bisherigen Erfahrungen zuwider laufenden sehr kleinen Massenwert (s. S. 110) hatte die Frage brennend gemacht, welcher Art diese kleinen Massenteilchen denn eigentlich seien. Es ist wiederum das Verdienst von J. J. *Thomson*, schon 1881 gezeigt zu haben, daß der *Besitz einer elektrischen Ladung die Masse*, d. h. *die Trägheit eines Körpers scheinbar vergrößert.* Um das einzusehen, braucht man nur daran zu denken, daß ja *eine bewegte Ladung einen elektrischen Strom vorstellt, der stets um sich herum ein magnetisches Feld hat* (Abb. 8, S. 95). Dieses stellt einen

gewissen Energievorrat vor, der zu dem Betrage der dem ungeladenen Körper zu erteilenden Bewegungsenergie hinzukommt. Das bedeutet aber, daß die aufzuwendende Energie bei einem geladenen Körper größer ist als bei einem ungeladenen, wenn beide auf die gleiche Geschwindigkeit gebracht werden sollen, kommt also auf dasselbe hinaus, als wenn der geladene Körper eine größere Masse als der ungeladene hätte.

Die Rechnung ergibt bei einer Kugel vom Radius a, der Ladung e und der Geschwindigkeit v als Gesamtbetrag der magnetischen Feldenergie $\frac{1}{3} \cdot \frac{e^2}{a} \cdot \frac{v^2}{c^2}$ (c Lichtgeschwindigkeit s. S. 96), daher ist die insgesamt aufzuwendende Energie $E = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{3} \frac{e^2}{a} \cdot \frac{v^2}{c^2}$, was auf dasselbe hinauskommt, als wenn der Körper ungeladen wäre, aber die größere Masse $\frac{E}{{}^1/_2 v^2} = m + \frac{2}{3} \frac{e^2}{a c^2}$ hätte.

Dieser Betrag heißt also seine scheinbare Masse, der Zusatz $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a c^2}$ die elektromagnetische Masse. Das angeführte Resultat gilt nur, wenn v klein gegenüber c ist. Kommt die Bewegungsgeschwindigkeit näher an die Lichtgeschwindigkeit heran, so wird die Rechnung erheblich verwickelter, und das Ergebnis ist, daß der Betrag der „elektromagnetischen Masse" selbst von der Geschwindigkeit v abhängig wird[54] (Heaviside, Lorentz, Abraham). Er wird mit wachsendem v rasch größer und würde bei Erreichung der Lichtgeschwindigkeit unendlich groß werden, es ist also danach überhaupt unmöglich, einem (elektrisch geladenen) Körper diese Geschwindigkeit zu erteilen, da das einen unendlich großen Energieaufwand erfordern würde. — Diese ganzen Rechnungen würden nun aber schwerlich so viel Staub aufgewirbelt haben, wenn nicht die Entdeckungen an den Kathodenstrahlen und bald darauf an den β-Strahlen des Radiums die Physiker vor die Frage gestellt hätten, wie es sich denn bei diesen Teilchen, deren Masse nach den Ergebnissen so klein, deren Geschwindigkeit jedoch sehr beträchtlich ist, mit der „elektromagnetischen Masse" verhält. Sollten diese Teilchen vielleicht nur „elektromagnetische Masse" haben? Diese Frage lag um 1900 so in der Luft, daß sich schwerlich mehr wird nachweisen lassen, wer den Gedanken zuerst ausgesprochen hat. Und doch ist er von ungeheurer Tragweite. Er bedeutet eine grundstürzende Revolution des physikalischen Weltbildes, die tief in die allgemeinsten naturphilosophischen Gedankengänge hineingreift. Denn zum ersten Male stand damit

vor dem geistigen Auge ein Etwas, ein Ding, ein Körper („Korpuskel"), dem die scheinbar fundamentalste Eigenschaft alles Materiellen, die Trägheit nicht an sich zukommt, sondern nur als Folge der Wechselwirkung mit dem „Felde". Die Trägheit des Elektrons hat dann ihren Sitz sozusagen nicht mehr im Elektron selbst, sondern im ganzen umgebenden Raume; und sie ist dazu nicht einmal eine konstante Eigenschaft, sondern eine Funktion der Geschwindigkeit, die nur bei geringer Geschwindigkeit in erster Nährung als konstant betrachtet werden darf. Zur Beantwortung dieser grundsätzlich wichtigen Frage unternahm W. Kaufmann eine Untersuchung an den β-Strahlen des Radiums die noch erheblich größere Geschwindigkeiten als die Kathodenstrahlteilchen (bis zu $^{13}/_{14}$ der Lichtgeschwindigkeit) besitzen. Das Ergebnis war: Die Masse der Teilchen wächst tatsächlich mit der Geschwindigkeit (e/m ist also hier nicht mehr konstant), und die Versuchsergebnisse ließen sich mathematisch durch die Annahme, die Gesamtmasse sei rein elektromagnetischer Natur, richtig wiedergeben nach Formeln, die Abraham hierfür entwickelt hatte.

Nimmt man dies an, so berechnet sich aus der Masse eines Elektrons ($= \frac{1}{1800}$ der Masse des H-Atoms) mit der obigen Formel sogleich der Radius a desselben, unter Voraussetzung der Kugelform zu etwa 0,2 Billionstel cm.

Dieses Ergebnis legt nun weiter den Gedanken nahe, wie es sich denn hinsichtlich der gewöhnlichen „Masse" verhält? Sollte vielleicht alle Masse überhaupt elektromagnetischen Ursprungs sein? Hier greift nun zunächst das oben gekennzeichnete Rutherfordsche Atommodell mit seiner Vorstellung von einem positiven „Kern" und negativen ihn umkreisenden Elektronen ein. Nehmen wir als einfachsten Fall das H-Atom (S. 00) das nach Rutherford-Bohr (s. u.) aus einem positiven Kern der Ladung $+ \varepsilon$ und einem ihn umkreisenden Elektron $- \varepsilon$ besteht. Da der Kern desselben eine noch 1800mal größere Masse als ein Elektron hat, so müßte sein Radius noch 1800mal kleiner sein, weil die Masse $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a\,c^2}$ ja mit dem Radius a umgekehrt proportional ist. Also betrüge der Radius des Kernes dann nur ca. 100 Trillionstel cm*). Andererseits beträgt nach der Gastheorie der Radius des ganzen

*) Der Leser lasse sich durch das überraschende Ergebnis, daß die größere Masse das kleinere Volum hat, nicht irre machen.

Atoms, das wäre etwa der Abstand zwischen Kern und Elektron, ungefähr 0,01 Millionstel cm. Man sieht also, daß auch hiernach im unendlich Kleinen ähnliche Verhältnisse vorliegen, wie im großen in der Astronomie: Die einzelnen Glieder des Systems haben voneinander Abstände, die sehr groß gegen ihre eigenen Durchmesser sind. (Der „Atomradius" ist etwa 50—100 000mal größer als der Radius des Elektrons und rund 100millionenmal größer als der des positiven Kerns, d. h. die Größenverhältnisse sind etwa so, wie wenn um ein Sandkorn (den Kern), ein mächtiger Felsblock (das Elektron) im Abstande von 100 km rotierte. — Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit dem, was oben im Anschluß an den Durchgang der α-Strahlen durch Materie (Rutherford, Darwin, Wilson) gefolgert wurde. — Wir kommen auf das Problem der Masse unten noch einmal zurück, haben aber nunmehr unser Augenmerk zunächst auf eine andere Seite der Sache, nämlich die schon mehrfach erwähnten

Erscheinungen der Lichtemission und Absorption

zu richten. Eben dahin gehören die Vorgänge der Wärmestrahlung und die Erzeugung und Absorption der Röntgenstrahlen, wir haben es ganz allgemein mit dem Übergang der strahlenden Energie aus dem Felde in die Materie (Absorption), bzw. umgekehrt, dem Übergang der kinetischen Energie der Materie (Moleküle, Atome, Elektronen) in Feldenergie, d. i. Strahlung zu tun.

Das von festen oder flüssigen glühenden Körpern ausgesandte Licht liefert, wie schon oben S. 100 erwähnt, bei der Zerlegung mittels eines Prismas ein kontinuierliches Spektrum, d. h. Licht aller möglichen Wellenlängen. Abweichend davon gibt ein glühendes Gas ein sog. Linienspektrum, d. h. es sendet nur Licht einzelner ganz bestimmter, niemals aller Wellenlängen aus, wenn auch die Zahl der Linien (so z. B. im Eisenspektrum) eine ganz außerordentlich große sein kann. Diese Linienverteilung ist eine überaus charakteristische Eigenschaft der chemischen Elemente, die ihnen meist auch in ihren sämtlichen Verbindungen erhalten bleibt. Den charakteristischen Emissionsspektren zur Seite stehen die Absorptionsspektren. Läßt man Licht aller Farben, z. B. von einer Bogenlampe, durch einen Stoff hindurchfallen, so löscht dieser stets gewisse Teile des Spektrums aus, entweder ganze breite Partien oder aber einzelne ganz bestimmte Farben, so daß man in dem kontinuierlichen Spek-

trum der ursprünglichen Lichtquelle dann schwarze, breitere oder schmälere Streifen sieht. Das gilt für alle Stoffe, auch die farblos „durchsichtigen", deren Absorptionsgebiete eben nur zufällig nicht im sichtbaren, sondern im unsichtbaren Spektrum liegen. Glühende Gase zeigen nun wieder die charakteristische Eigenschaft, daß ihre Absorptionslinien genau mit ihren Emissionslinien zusammenfallen, d. h., daß sie gerade das Licht, was sie selbst aussenden, auch am stärksten absorbieren (Kirchhoff und Bunsen).

Die Erklärung dieser auf den ersten Blick paradoxen Tatsache ergibt sich ganz einfach. Wir können uns dabei sogleich auf den Boden der Elektronentheorie stellen, obwohl auch eine weitere Fassung der Begriffe hier noch den gleichen Dienst tun würde. Wir brauchen nämlich nichts weiter anzunehmen, als daß in den Atomen der Körper selbst schwingungsfähige Gebilde sind, die dann Wellen entsprechender Schwingungszahl in den Raum hinaussenden oder aber auch solche Wellen aufnehmen können. Die letztere in der Wellenlehre ganz allgemein bekannte Erscheinung heißt Resonanz. Eine auf dem Tische stehende Stimmgabel fängt an mitzuschwingen, wenn Wellen der gleichen Tonhöhe auf sie treffen. So schwingen also auch gewisse „Oszillatoren" oder „Resonatoren" in den Atomen gegebenenfalls mit auftreffenden Lichtwellen mit, und es bedarf nach dem früher Erörterten keiner weiteren Erläuterung, daß diese Resonatoren die im Atom kreisenden Elektronen sind, die natürlich Wellen gleicher Wellenlänge auch aussenden können. Die Tatsache, daß glühende Gase nur einzelne bestimmte Wellenlängen aussenden, ist dann so zu deuten, daß die schwingenden Elektronen in den freien Molekülen bzw. Atomen der Gase offenbar an ganz bestimmte Bahnen gebunden sind. Da im Gegensatz dazu die festen und flüssigen Körper Licht aller Farben liefern, so müssen hier durch die gegenseitige Beeinflussung der Moleküle, die infolge der Molekularbewegung fortwährend ihren Betrag wechselt, alle möglichen Schwingungsformen vorkommen.

Aber nicht nur solche allgemeinen qualitativen Aussagen lassen sich auf Grund der Theorie machen, dieselbe gestattet vielmehr auch weittragende quantitative Schlüsse. Man kann nämlich zunächst die Farbenzerstreuung (Dispersion) aus ihr als notwendige Folge ableiten und dabei quantitative Gesetze über Brechung und Absorption gewinnen, die durch die Erfahrung im allgemeinen bestätigt werden. Wichtiger jedoch als solche Folgerungen, die übrigens jede auch nicht elektromagnetische Resonatorenhypothese liefert, sind weitere Folgerungen über besondere elektrooptische und magnetooptische Wirkungen. An erster Stelle steht da die

rasch berühmt gewordene Entdeckung Zeemanns, eines Schülers von H. A. Lorentz, des Begründers der Elektronentheorie. Schon Lorentz hatte 1895 gleich nach Aufstellung seiner Theorie aus ihr gefolgert, daß ein Magnetfeld auf die das Licht aussendenden Elektronen in der gleichen Weise, wie auf die in den Kathodenstrahlen fliegenden Elektronen wirken müßte. Die Rechnung ergibt, daß infolge dieser Einwirkung statt des bisher von der fraglichen Elektronenart ausgesandten einfarbigen Lichts, drei[85] voneinander etwas verschiedene Wellenlängen, die ursprüngliche und je eine etwas kürzere und etwas längere ausgesandt werden und daß diese drei Anteile gleichzeitig in bestimmter Weise „polarisiert" sein müssen. Der Nachweis, daß es sich wirklich so verhält, gelang ein Jahr später Zeemann. Abb. 20 zeigt den normalen sog. Zeemanneffekt. Aus der Beschaffenheit des polarisierten Lichts und der Größe der „Aufspaltung" (Differenz der Schwingungszahlen) folgt nach der Rechnung, daß erstens die aussendenden Teilchen negative Ladung haben müssen, und daß zweitens das Verhältnis e/m bei ihnen fast genau denselben Wert hat, wie bei den Kathodenstrahlen! Eine schönere indirekte Bestätigung gemachter Annahmen ist kaum denkbar, und so ist es kein Wunder, daß sich bald ganze Scharen von Physikern der Untersuchung dieser so tief in die Geheimnisse der Atomwelt hineinführenden Erscheinung widmeten. Dabei stellte sich denn bald heraus, daß der von Lorentz zuerst berechnete einfache Fall nur selten vorkommt. Die Einwirkung des Magnetfeldes ergibt meist Aufspaltungen in mehr als drei Komponenten, man hat bis zu 19 beobachtet. Trotz dieser Unstimmigkeit darf die in den einfachen Fällen gefundene zahlenmäßige Übereinstimmung unmöglich als Zufall betrachtet werden. Doch ist die Erklärung offenbar in den meisten Fällen komplizierter als man zunächst annahm.

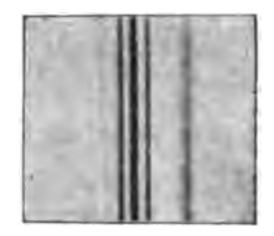


Abb. 20. Normaler Zeemann-Effekt.

Die Spektroskopie hat überhaupt durch lange Jahrzehnte das Bild eines Wissenschaftszweiges geboten, in dem die theoretische Deutung mit der experimentellen Feststellung nicht gleichen Schritt hielt. Die außerordentliche Feinheit und Exaktheit der Meßmethoden auf diesem Gebiet steht direkt auf einer Linie mit der sprichwörtlichen „astronomischen Genauigkeit". So ist es denn kein Wunder, daß man in den zahllosen genauen Messungen auch hin und wieder quantitative Beziehungen, also rein

empirisch festgestellte „Gesetze" erkannte. Das wichtigste davon ist das schon im Jahre 1885 von dem Schweizer Balmer zunächst am Spektrum des Wasserstoffs gefundene Seriengesetz. Das Wasserstoffspektrum (Abb. 21) ist besonders einfach gebaut. Die Schwingungszahlen seiner Linien lassen sich nach Balmer mit sehr großer Genauigkeit durch die Formel $R \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right)$ angeben, worin R eine Konstante ist, die den Zahlenwert 3291 Billionen hat und n der Reihe nach gleich 3, 4, 5, 6 ... zu setzen ist. Also $R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right)$, $R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}\right)$, $R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right)$ usw. sind die Schwingungszahlen dieser Linien. Zwei andere ähnliche Formeln gelten für andere Spektralserien, und man fand ferner, daß chemisch ähnliche Elemente aus der gleichen Kolonne des periodischen Systems auch ähnliche Serien, nur mit anderem Konstantenwert liefern. Die Untersuchung des Zeemanneffekts ergab nun sogleich die auffallende Tatsache, daß Linien einer Serie stets den gleichen Zeemanneffekt zeigen (also z. B. alle in 5 oder 7 Komponenten gespalten werden), und daß in der Regel nur „isolierte", keiner Serie angehörige Linien den einfachsten Typus, das normale sog. Triplet (Abb. 21) liefern. Eine Unmenge weiterer magneto- und elektrooptischer „Effekte" müssen wir hier übergehen, darunter z. B. den Zeemanneffekt der Absorptionslinien (Voigt) u. a., und erwähnen nur, daß in diesem Zusammenhange nun auch der „Faraday-Effekt" (s. S. 102) seine Aufklärung findet. — Doch blieb bei all diesen Fortschritten die ursprüngliche Grundtatsache selber, die Aussendung der betr. Lichtart durch ein bestimmtes Element, unerklärt. Warum Wasserstoff gerade diese Serie, die Alkalimetalle gerade jene Serie von Linien aussenden, woher überhaupt diese eigentümlich komplizierte Erscheinung der Serie kommt, die einesteils wohl an das akustische Verhältnis von Grundton und Obertönen erinnert, dann aber doch wieder so gänzlich anders ist, das blieb unerklärt.

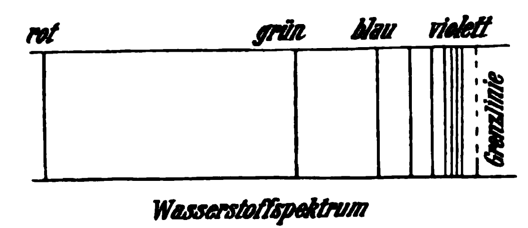


Abb. 21. Balmerserie des Wasserstoffs.

„Der gesamte Befund der Spektralanalyse zeigt, daß die Beschaffenheit des ausgestrahlten bzw. absorbierten Lichtes eine der charakteristischsten

Eigenschaften des betr. chemischen Elements ist. Daraus folgt, daß der innere Mechanismus dieser Erscheinungen in jedem Fall aufs innigste mit der Konstitution des Atoms zusammenhängen muß, ja, daß wir wohl die Hoffnung haben dürfen, diese mit jenen zugleich zu ergründen." — So schrieb der Verfasser in der ersten Auflage dieses Buches (1913). Heute kann gesagt werden, daß wir diesem Ziele um ein ganz erhebliches Stück näher gekommen sind. Der „Newton der Spektroskopie", nach dem man lange Zeit ausgeschaut hat, ist anscheinend gekommen, es ist der dänische Physiker Niels Bohr, ein Schüler Rutherfords (1913!). Die wesentlichste Grundlage aber für seine geniale Ableitung der Spektralserien hat ihm die Plancksche Quantenlehre geliefert. Was ist das?

Die Plancksche Theorie behandelt zunächst nicht die Strahlung und Absorption im Linienspektrum der Gase, sondern das kontinuierliche Spektrum des sog. absolut schwarzen Körpers (Ruß ist angenähert ein solcher). Wie schon oben erwähnt, handelt es sich hierbei um den Übergang von elektromagnetischer Strahlungsenergie in Molekularbewegung und umgekehrt. Wir nehmen an, daß „Oszillatoren" (Resonatoren) in den Molekülen oder Atomen vorhanden sind, die diesen Übergang bewerkstelligen. Im glühenden festen oder flüssigen Stoff haben wir nun solche Oszillationen aller Schwingungszahlen. Die Frage ist: Wie ist die Energie auf diese verteilt und wie ändert sich diese Verteilung mit steigender Temperatur. Es ist allgemein bekannt, daß ein Körper beim allmählichen Erwärmen zuerst nur dunkle (ultrarote) Wärmestrahlen aussendet, dann allmählich rotes Licht sichtbar wird, weiterhin auch gelb, grün usw. hinzukommen, so daß er schließlich weiß glüht. Geht man also mit einem für Strahlen aller Wellenlängen empfindlichen Aufnahmeapparat (S. 100) in dem Spektrum entlang, so bekommt man eine Energieverteilungskurve (Abb. 22), deren höchster Punkt bei tieferer Temperatur weit im Ultraroten liegt; bei steigender Temperatur steigt nach den Versuchen die ganze Kurve, gleichzeitig verschiebt sich das Maximum nach der Seite der kürzeren Wellenlängen hin und kommt schließlich ins sichtbare Spektrum zu liegen. (Beim Sonnenlicht liegt es mitten darin.) Das Problem bestand darin, diese „Strahlungskurve" theoretisch herzuleiten. Bei diesem Versuch ergab sich nun ein Widerspruch gegen die seitherige kinetische Wärmetheorie. Dieselbe rechnet überall mit der anscheinend selbstverständlichen Annahme der Gleichberechtigung aller Molekular-Geschwindigkeiten (s. S. 84) und demzufolge der „gleichmäßigen Energie-

verteilung", d. h. der Forderung, daß zugeführte Energie sich stets gleichmäßig auf alle in Betracht kommenden „Freiheitsgrade" (Bewegungsmöglichkeiten) verteilt. Auf Grund dieser Annahme kann man, wie zuerst Rayleigh (1900) gezeigt hat, die Strahlungskurve (Energieverteilung) theoretisch blos mit Zuhilfenahme des Energie- und Entropiesatzes berechnen, erhält jedoch ein mit der Erfahrung durchaus nicht übereinstimmendes Ergebnis. Denn danach müßte die Energie des kontinuierlichen Spektrums nach dem violetten Ende hin dauernd zunehmen, während sie, wie schon gesagt, stets bei einer gewissen Wellenlänge ein Maximum erreicht, um dahinter sehr rasch abzufallen. Plancks Grundgedanke besteht nun darin, daß er die Annahme der gleichmäßigen Energieverteilung fallen ließ oder, was auf dasselbe hinauskommt, daß er nicht mehr die kontinuierliche, in jeder beliebigen Menge zu vollziehende Abgabe der Energie von den Atomen an das elektromagnetische Feld oder umgekehrt annimmt. Diese Abgabe kann vielmehr nach Planck nur so erfolgen, daß das Produkt aus der Energieabgabe E und der Dauer τ der einzelnen Schwingung, die sogen. „Wirkung" $E\tau$ ein ganzzahliges Vielfaches eines gewissen kleinsten „Wirkungsquantums" h ist. Da die Schwingungszahl $n = 1/\tau$ ist, kommt dies auf die Bedingung hinaus, daß E ein Vielfaches von hn ist. Unter dieser Annahme ergibt sich dann das „Plancksche Strahlungsgesetz" in einer vollständig mit der Erfahrung übereinstimmenden Form[56]. Die Konstanten des Gesetzes hängen von der Größe des „Wirkungsquantums" h

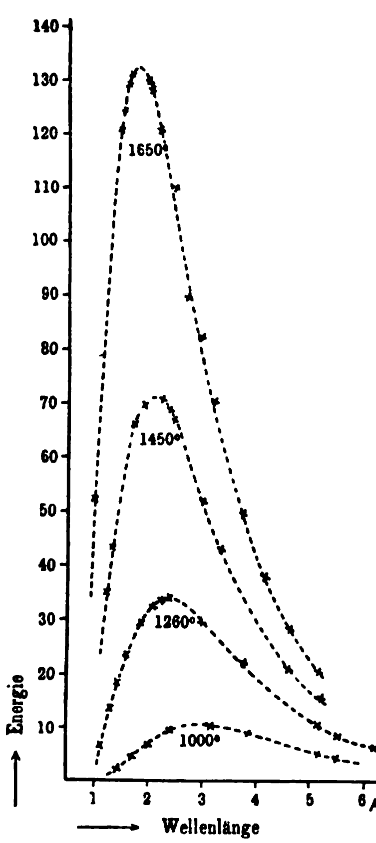


Abb. 22. Plancksche Strahlungskurve, die Kreuze entsprechen den Beobachtungen von Lummer und Pringsheim.

einerseits, von der Loschmidtschen Zahl andererseits in einfacher Weise ab, und beide Größen können daher durch Ausmessung der Strahlungskurve berechnet werden (s. S. 23).

Diese Entdeckung Plancks hat nun auch in zahlreichen anderen Gebieten ganz neue Ausblicke eröffnet. Wir können hier nicht auf alles eingehen, so interessant die Dinge auch sind, sondern müssen uns auf das Wichtigste, die Anwendung auf Bohrs Spektraltheorie, beschränken. Ausgehend von dem oben bereits geschilderten „Atommodell“

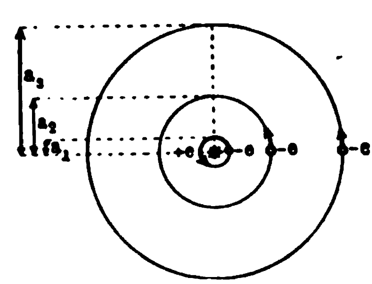


Abb. 23. Wasserstoffatom nach Bohr.

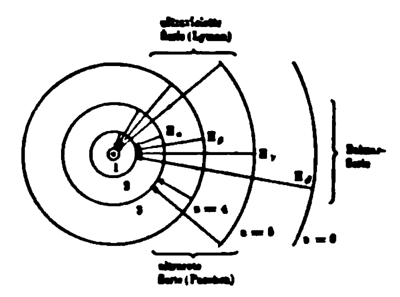


Abb. 24. Ausstrahlung des H-Atoms nach Bohr. Die Radien der Kreise sind willkürlich gezeichnet.

(positiver Kern mit darum kreisenden negativen Elektronen), das in der Hauptsache auf Rutherford zurückgeht, denkt sich Bohr zunächst den einfachsten Fall, das H-Atom, folgendermaßen (Abb. 23). Dasselbe besteht aus einem positiven Kern, der die Hauptmasse bildet, und einem negativen Elektron, das diesen Kern umkreist. Das Elektron kann jedoch nicht auf jeder beliebigen Bahn den Kern umlaufen, sondern nur auf einzelnen ganz bestimmten Bahnen, und zwar ist diese Auswahl durch die Bedingung beschränkt, daß die Wirkung ($E\tau$) längs einer Bahn ein ganzzahliges Vielfaches des Planckschen Quantums ist (Einquantige, zweiquantige . . . Bahn). Der Energieverlust beim Übergang von einer Bahn zur anderen wird dann als Schwingungsenergie (vom Betrage hn) in den Raum ausgestrahlt (Abb. 24). Rechnet man unter Annahme der Elektronenladung, die aus den früher angeführten Versuchen bestimmt ist und dem aus den Strahlungsversuchen bekannten Wert von h das n (die Schwingungszahl) beim Übergang von einer Bahn zur anderen aus, so er-

gibt sich nicht nur formal das Balmersche Seriengesetz, sondern auch der Zahlenwert der Konstanten R = 3290 Billionen mit einer verblüffenden Genauigkeit, und ähnlich glänzende Ergebnisse hatte die etwas erweiterte Theorie bald darauf besonders durch Sommerfelds Arbeiten hinsichtlich anderer Spektren, sowie auch in der Erklärung der Gesetzmäßigkeiten der Röntgenspektren[57] aufzuweisen. Sogar die bei vielen Spektrallinien beobachteten Verdoppelungen u. a. m. können quantitativ richtig abgeleitet werden, wenn man von Bohrs ursprünglicher einfacher Annahme der Kreisbahn abweicht und dem Planetengesetz entsprechend elliptische Bahnen annimmt. So hat das Wort von dem „Newton der Spektroskopie“ selbst in dieser Einzelheit seine Erfüllung gefunden.

Dieses Ergebnis darf zur Zeit wohl als das glänzendste und tiefstgrabende der gesamten Atomforschung gelten. Es zeigt die Fruchtbarkeit physikalischer Hypothesen und ihren Erkenntniswert auf eine so schlagende Weise, daß niemand, der sich da hinein vertieft, im Zweifel sein kann, daß das Wesentlichste und Beste an der Physik gerade die Hypothesen sind. Gilt schon vom Zeemanneffekt, daß seine Voraussage durch Lorentz ein wahres Wunderwerk der theoretischen Spekulation ist, so ist Bohrs Spektraltheorie eine Leistung, die sich würdig der klassischen Himmelsmechanik Newtons anreiht. Überdies ist nun das Rutherford-Bohrsche „Atommodell“ auch noch zu zahlreichen anderen Dingen äußerst brauchbar. Niemand, der sich näher damit beschäftigt, wird sich des Eindrucks erwehren können, daß wir auf dem geraden Wege dazu sind, wirklich über die innere Struktur der Atome über kurz oder lang die endgültige Aufklärung zu erhalten. Zur Zeit gibt es freilich neben der Rutherford-Bohrschen noch eine ganze Anzahl anderer Vorstellungen, und es ist natürlich vorläufig noch nicht abzusehen, welches das endgültige Ergebnis sein wird. Auch sind die ganzen Hypothesen einstweilen keineswegs frei von Widersprüchen. So widerspricht z. B. die Bohrsche Annahme, daß das im Atom gleichförmig kreisende Elektron keine Strahlungsenergie aussendet, sondern nur das von einer Bahn auf die andere „abstürzende“, zweifellos der Maxwellschen Grundauffassung, da ja ein kreisendes Elektron eine periodische Feldänderung vorstellt, die natürlich Wellen in den Raum hinaussenden müßte. (So war die Sache bei Lorentz' Theorie des Zeemanneffekts auch ursprünglich gedacht.) Auch gegen

die Plancksche Quantenhypothese erheben sich sehr schwerwiegende Bedenken. Es ist also alles noch im Fluß, und es wäre verfrüht, selbst solche großartigen Ergebnisse schon als endgültige Lösung anzusehen. Das aber steht außer allem Zweifel, daß hier ein Weg zur völligen Einsicht eröffnet ist.

Die letzte und philosophisch bedeutsamste moderne Theorie ist nun

Einsteins Relativitätstheorie,

die in einer allgemein verständlichen Form darzustellen allerdings selbst ein Problem ist, das nahe an die Quadratur des Kreises grenzt[58]. Nichtsdestoweniger müssen wir es versuchen, da wir hier nicht nur die bedeutendste theoretische Leistung der heutigen Physik überhaupt vor uns haben, sondern auch durch sie zu Folgerungen geführt werden, die sehr tief in unser allgemeines Weltbild, ja geradezu bis in die letzten Weltanschauungsfragen eingreifen.

Um die Notwendigkeit, mit der die Physik auf die hier vorliegenden Probleme geführt wurde, einzusehen, müssen wir uns zunächst daran erinnern, daß die Maxwellsche Theorie das „Feld" zu etwas real Existierendem gemacht hatte, und da nun solche Felder ja zweifelsohne auch im leeren Raum bestehen können, so erschien entweder dieser selbst als ein reales Etwas, oder er mußte mit einem realen Etwas, das „Träger" dieser Felder war, erfüllt gedacht werden. Der „Äther" der Lichttheorie feierte also, wie schon erwähnt, als elektromagnetisches Medium seine Auferstehung. Dann aber ergab sich sofort die weitere Frage, wie denn nun Vorgänge elektromagnetischer bzw. optischer Art (das ist ja dasselbe) verlaufen, wenn die Medien, in denen sie sich abspielen, sich gegen den Äther bewegen, was sie doch z. B. infolge der Erdbewegung um die Sonne sicher tun müssen. Hier schien nun die so lange vergeblich gesuchte Möglichkeit vorzuliegen, diese „absolute Geschwindigkeit" der Erdbewegung experimentell festzustellen.

Bei der fundamentalen Bedeutung der Sache müssen wir, obwohl es dabei nicht ganz ohne Mathematik abgehen kann, hierauf etwas näher eingehen.

Es möge (Abb. 25) ein Lichtstrahl von A nach B geschickt und an einem dort aufgestellten Spiegel wieder nach A reflektiert werden. Ist die Strecke $AB = a$, die Lichtgeschwindigkeit c, so ist die für den Hin- und Rückweg gebrauchte Zeit $t = \frac{2a}{c}$. Jetzt bewege sich die ganze Strecke

AB (Abb. 25a) in der Richtung AB mit der Geschwindigkeit v, so daß der Spiegel B vor dem ankommenden Strahl sozusagen flieht (B'), während dem rückkehrenden der Beobachter A (in A') entgegenkommt. Man beweist dann leicht (s. d. Anm.) daß die gesamte für den Hin- und Rückweg gebrauchte Zeit nicht dieselbe wie vorher, sondern

$$t' = \frac{2a}{c} \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2} = t \, \frac{1}{1 - \beta^2}$$

ist, wenn der Bruch $^v/_c$, d. i. das Verhältnis der Bewegungs- zur Lichtgeschwindigkeit, mit β bezeichnet wird.

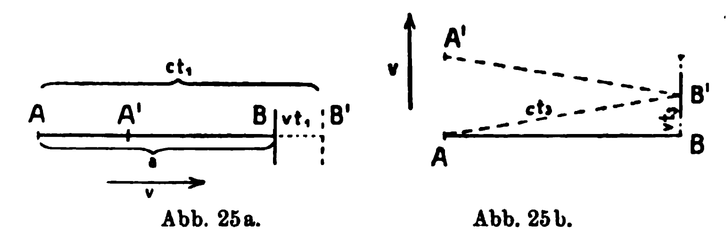


Abb. 25a. Abb. 25b.

Bewegt sich hingegen die ganze Strecke A B senkrecht zu ihrer eigenen Richtung (Abb. 25b) mit der Geschwindigkeit v, so muß das Licht einen schrägen Weg laufen, um zum Beobachter (in A') zurück zu gelangen. Man erhält dann (s. d. Anm.) für die gesamte Zeit den Betrag

$$t'' = t \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Beweis zu 1: Der Lichtstrahl gebrauche für den Hinweg die Zeit t_1, für den Rückweg t_2. In der Zeit t_1 bewegt sich B um die Strecke vt_1 vorwärts bis B', so daß der Strahl den Weg $a + vt_1$ zu machen hat. Andererseits ist der zurückzulegende Weg $(AB') = ct_1$. Daher $ct_1 = a + vt_1$, woraus $t_1 = \frac{a}{c-v}$ folgt. Auf dieselbe Weise ergibt sich für den Rückweg $t_2 = \frac{a}{c+v}$ und daraus die Gesamtzeit $t' = t_1 + t_2 = \frac{a}{c-v} + \frac{a}{c+v} = \frac{2ac}{c^2 - v^2} = \frac{2a}{c} \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2}$

Beweis zu 2: Ist t_2 die Zeit für den einen Weg, so ist dieser $(AB') = ct_2$. Dies ist aber Hypotenuse im rechtw. Dreieck ABB', dessen Katheten $AB = a$ und $BB' = vt_2$ sind. Also ist $(ct_2)^2 = a^2 + (vt_2)^2$. Hieraus $(t_2^2 (c^2 - v^2) = a^2$, also $t_2 = \frac{a}{\sqrt{c^2 - v^2}}$, also $t'' = 2t_2 = \frac{2a}{\sqrt{c^2 - v}} = \frac{2a}{c} \cdot \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = t \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$.

Die beiden Werte t' und t'' sind also nicht gleich, sondern verschieden voneinander und von der ursprünglichen Zeit t. Mit Hilfe einer hinreichend genauen Zeitmessung muß es daher möglich sein, diesen Unterschied festzustellen. Der Versuch wird praktisch so ausgeführt, daß man einen Lichtstrahl in zwei Teile spaltet, die gleichzeitig zwei zueinander senkrechte, genau gleiche Wege hin und zurück zu durchlaufen haben und diese beiden Strahlen nach der Rückkehr zur Interferenz bringt. Stellt man den ganzen Apparat zunächst so, daß die eine dieser beiden Richtungen in die Erdbewegung fällt und dreht ihn dann um 90°, so muß das Interferenzbild sich verschieben. Der Versuch ist von den amerikanischen Forschern Michelson und Morley 1887 mit einer so feinen Anordnung angestellt worden, daß dieselbe einen noch zehnmal geringeren Effekt als den aus der Erdgeschwindigkeit theoretisch berechneten hätte angeben müssen, das Resultat war aber völlig negativ. Der gesuchte Zeitunterschied existiert nicht, es gibt also auch hier wieder kein Mittel, die absolute Erdgeschwindigkeit durch Messungen auf der Erde selbst festzustellen. Vielfache Wiederholung des Experiments mit den raffiniertesten Mitteln moderner Präzisionstechnik hat stets das gleiche negative Ergebnis gehabt. Entweder bewegt sich also der „Äther" mit der Erde, wenigstens in der nächsten Umgebung mit, oder die ganze Theorie enthält irgendwo noch einen Fehler. Die weitere Verfolgung dieses Problems, die wir nun hier natürlich nicht bis ins einzelne durchgehen können, ergab schließlich nur zwei Lösungsmöglichkeiten[59], deren eine von Lorentz, die andere von Einstein (1905) gefunden wurde. Lorentz nahm an, daß die Bewegung gegen den als ruhend gedachten Äther den Einfluß habe, alle Längen, auch die Molekulardurchmesser, ja die Elektronen selbst, in der Richtung der Bewegung auf den Bruchteil $\sqrt{1-\beta^2}$ zu verkürzen. Man sieht sofort, daß wenn statt a in der Formel für t' der Bruchteil $a\sqrt{1-\beta^2}$ gesetzt wird, dann $t' = t''$ wird. (Lorentzsche Kontraktionshypothese.) Diese Hypothese ist an sich nicht so ungeheuerlich, wenn man bedenkt, daß ja aller Stoff letzten Endes aus elektrischen Ladungen bestehen soll, die doch ein Feld um sich haben, und daß daher Bewegungen dieser Ladungen gegen das Feldmedium (den Äther) recht wohl Kräfte im Gefolge haben könnten, die diese Verkürzung bewirken. Sie hat aber natürlich von vornherein das Bedenken gegen sich, eine ad hoc ersonnene Hilfshypothese zu sein, die noch dazu niemals zu bestätigen ist, da ja alle Maßstäbe an der Verkürzung teilnehmen. Aus diesem Grunde hat Einstein eine andere Lösung ge-

geben, die sich dann binnen kurzem zu einem staunenswerten Theoriengebäude auswuchs. Nach Einstein liegt der Fehler in unserem Zeitbegriff. Wir denken uns gemeinhin alle Vorgänge in der Welt in einer einzigen Zeit. Gäbe es eine große Uhr im Weltall, so würde jedes Ereignis, das sich abspielt, darauf einen ganz bestimmten Zeitpunkt angeben. Die Tatsache, daß wir von verschiedenen Standpunkten aus unsere Zeitangaben nur vergleichen können durch Übermittlung von Signalen, ändert an dieser Vorstellung scheinbar nichts. Denn man kann ja die Zeit, die zur Übermittlung gebraucht wird, in Rechnung setzen, wenn man die Entfernung und die Übermittlungsgeschwindigkeit kennt. Will ein Beobachter also beispielsweise mit Hilfe von Lichtsignalen seine Uhr mit der eines anderen vergleichen, so braucht er ja nur die Entfernung durch die Lichtgeschwindigkeit c zu dividieren, um zu wissen, wieviel Zeit das Lichtsignal gebraucht. Zieht er diese Zeit ab, so kann er seine Uhr direkt mit der des anderen vergleichen. Diese ganze, dem Laien und bisher auch dem Physiker selbstverständlich erscheinende Voraussetzung hebt Einstein auf. Nach ihm kann der Vergleich zweier Uhren nicht einfach dadurch geschehen, daß man nur die gegenseitige augenblickliche Entfernung berücksichtigt, sondern es ist auch der gegenseitige Bewegungszustand für den Vergleich maßgebend, d. h. es kommt darauf an, ob der eine gegen den anderen eine relative Geschwindigkeit besitzt. Es gibt gar keine allgemeine Weltenzeit, sondern nur Zeiten für jeden Beobachter, die allerdings aufeinander bezogen werden können, aber nur, indem man die relative Bewegung derselben gegeneinander berücksichtigt. Nur unter dieser Voraussetzung nämlich läßt sich, wie Einstein mathematisch zeigt, die Forderung der grundsätzlichen Relativität der Bewegung auch elektrodynamisch durchführen und damit auch der negative Ausfall des Michelson-Versuchs erklären. Soll es unmöglich sein, auch durch optische (elektrische) Vorgänge absolute Bewegung zu konstatieren — und Einstein fordert als ersten obersten Grundsatz, daß das überhaupt unmöglich sei — so muß demnach eine andere Kinematik (s. S. 52) zugrunde gelegt werden. Letzten Endes liegt das daran, daß dem „leeren Raum", der nach Einstein wirklich leer ist, tatsächlich ja die Konstante c eigentümlich ist. Wenn diese also keine physikalische Eigenschaft des „Äthers" darstellt, so bleibt nichts übrig, als sie zu einer kinema-

tischen, d. h. zu einer Eigenschaft unseres Raumzeitschemas, zu machen (s. auch unten).

Mathematisch gesprochen muß die Forderung so heißen: Ist x, y, z ein räumliches Koordinatensystem eines Beobachters, t die von ihm mittels einer Uhr gemessene Zeit, x', y', z', t', die entsprechenden Größen für einen zweiten Beobachter und bewegen sich beide Systeme (Beobachter) gegeneinander mit der relativen Geschwindigkeit v, so dürfen alle Naturgesetze ihre mathematische Formulierung nicht ändern, wenn man von dem einen System auf das andere übergeht. Dies ist aber hinsichtlich der elektromagnetischen Grundgleichungen Maxwells nur möglich, wie schon Lorentz erkannt hatte, wenn der Übergang von einem System zum andern durch Formeln ausgedrückt wird, in denen das Verhältnis der relativen Bewegungsgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit $v/c = \beta$) eine Rolle spielt und in denen t' nicht gleich t ist[60].

Das am meisten in die Augen Fallende an der Sache ist zunächst, daß auch die Zeit mit transformiert wird (t' nicht gleich t ist), d. h., daß jeder Beobachter seine eigene Zeit hat, und daß also zwei Ereignisse an verschiedenen Orten, die für den einen Beobachter gleichzeitig sind, es für den anderen im allgemeinen nicht sind. Es hält außerordentlich schwer, sich in diesen Gedanken einzuleben, da uns allen die Vorstellung der einen allgemeinen Weltenzeit (tempus absolutum, quod aequabiliter fluit, sagte Newton) im Blute steckt. Es gehört ein ähnliches Saltomortale des Denkens dazu, wie es etwa das Kopernikanische Weltsystem für dessen Zeitgenossen bedeutet haben muß. Die Lorentzsche Kontraktion (s. o.) ergibt sich hier als Folgerung, aber nur in dem Sinne, daß der Stab, der für einen mit ihm fest verbundenen Beobachter die Länge l natürlich behält, für einen anderen, gegen dessen Standort er sich bewegt, die „scheinbare" Verkürzung (auf $l\sqrt{1-\beta^2}$) erfährt. Nicht die physikalische Ursache der vom „Äther" auf die Materie ausgeübten „Kräfte" macht es also, sondern die reine kinematische Tatsache der Relativbewegung läßt es so erscheinen.

Im übrigen will ich nicht verfehlen, hier eine Bemerkung einzuschalten, die sich mir im Verfolgen der populären Literatur über die R. Th. häufig aufgedrängt hat. Es wird ganz allgemein — leider auch von wissenschaftlicher Seite, auch Einsteins populäre Darstellung[58] ist nicht frei davon — auf diese hier angedeuteten Paradoxien, welche sich aus der R. Th. ergeben, ein ungebührlich großer Wert gelegt, und der Laie, dem sie natürlich zunächst nicht in den Kopf gehen wollen, glaubt deshalb, er verstehe die ganze R. Th. von vornherein nicht. Das ist ein schwerer Schaden für die R. Th. selbst. Man sollte vielmehr allen

Nachdruck darauf legen, dem Laien zunächst ganz klar die Alternative vor Augen zu stellen, welche in der Frage ausgedrückt ist, ob c eine physikalische oder eine kinematische Konstante ist. Das erstere bedeutet, daß dem Raume im Sinne der Maxwellschen Theorie physikalische Zustände (Felder) zukommen können, die sich darin mit der Geschwindigkeit c ausbreiten. Die Verfolgung dieser Vorstellung führt notwendig zur „Absoluttheorie" und damit zur Ungültigkeit des klassischen Rel.-Prinzips (S. 56) für das Gebiet der Elektrodynamik und Optik. Die tatsächliche Unmöglichkeit, trotzdem die Absolutbewegung (gegen den „Äther") festzustellen, muß dann durch Hilfshypothesen (Mitführung des Äthers mit der Erde, aber nicht mit irdischen bewegten Gegenständen oder aber Lorentzkontraktion) erklärt werden. Das andere dagegen ist dann Einsteins Lösung, welche c zu einer dem Raumzeitsystem als solchem inhärenten Eigenschaft macht. Das bedeutet aber offenbar nicht nur, daß c dann streng genommen in die Formulierung aller physikalischen Gesetze eingeht (auch der mechanischen), sondern es muß, da doch c nun einmal zweifellos die elektromagnetische Grundkonstante ist, wohl schon hier gefolgert werden, daß der Elektromagnetismus dem Grundbestand aller Wirklichkeit unmittelbar zugehört (s. u. S. 147).

Die hier in ihren Grundzügen geschilderte Theorie heißt „spezielle Relativitätstheorie". Sie bietet nach dem Angeführten schon eine Fülle interessanter philosophischer Folgerungen. Doch werden diese weit in den Schatten gestellt durch diejenigen, welche sich an die 1915 von Einstein gegebene Erweiterung seiner Theorie anknüpfen, an die sog. „allgemeine Relativitätstheorie". Den Übergang zu dieser Erweiterung bildete die mehr mathematische Umgestaltung, welche Minkowski der ursprünglichen Einsteinschen Theorie gab. In seinem berühmten Vortrag über „Raum und Zeit", den er auf der Naturforscherversammlung in Köln im Jahre 1908 hielt, zeigte Minkowski, daß man die neue Einsteinsche Kinematik in sehr übersichtlicher und eleganter Form als eine Art vierdimensionaler Geometrie darstellen könne, sofern man die Zeit einfach als vierte Koordinate den drei Raumkoordinaten x, y, z analog behandelt. Diese „Weltgeometrie" ist jedoch eine nichteuklidische Geometrie"[1].

Um dies letztere zunächst für Leser, die nicht mit diesen Begriffen vertraut sind, einigermaßen zu erläutern, denken wir uns vorläufig einmal

Wesen von nur zwei Dimensionen (Länge und Breite), die aber wie wir mit Intelligenz begabt sein sollen. Leben solche Wesen in einer Ebene, so werden sie unsere bekannten planimetrischen Lehrsätze ermitteln, z. B. den Lehrsatz des Pythagoras. Sie werden ferner den Begriff der geraden Linie kennen, und wenn sie an das Arbeiten mit Koordinatensystemen gewöhnt sind, so werden sie ebenso wie wir etwa die gerade Linie durch eine Gleichung ersten Grades in den beiden Koordinaten ($ax + by = c$) darstellen. Ein ganz besonders kluger unter diesen „Flachköpfen" wird dann auf den Gedanken kommen, man könne auch dreidimensionale „Räume" in Gedanken konstruieren und in ihnen sich mittels eines dreifachen Koordinatensystems (x, y, z) orientieren. Dann würde der „Raum" seiner Welt, (d. h. unsere „Ebene") sich durch eine Gleichung ersten Grades in x, y, z (also $ax + by + cz = d$) darstellen, ebenso wie bei uns in der analytischen Geometrie des Raumes.

Lebten solche zweidimensionale Wesen dagegen z. B. auf einer Kugelfläche, so würden sie eine ganz andere Geometrie herausbekommen. Sie würden als „gerade Linie" den kürzesten Weg zwischen zwei Kugelflächenpunkten, d. i. den Bogen des Hauptkreises, definieren, würden dann mit Dreiecken usw. arbeiten können (unseren „sphärischen Dreiecken" usw.). aber natürlich dabei z. T. ganz andere Lehrsätze ermitteln. Es würde z. B. nicht der Satz des Pythagoras gelten (es würde überhaupt keine „Quadrate" geben), ebensowenig würde die Winkelsumme im Dreieck = 2 R sein usf. Nehmen wir aber an, daß ihre Kugelfläche sehr groß, d. h. sehr schwach gekrümmt sei, so könnte es sein, daß sie angenähert, solange sie sich in nicht zu großen Bereichen bewegen, doch die Sätze der Euklidischen „Planimetrie" ermittelten. Sie würden dann erst bei hinreichender Feinheit der Messung bzw. hinreichend großer Ausdehnung derselben hinter die Krümmung ihres „Raumes" kommen und diese zahlenmäßig bestimmen können. Natürlich könnten aber nun sowohl jene in der Ebene lebenden Mathematiker sich auch diese Kugelflächengeometrie (Sphärometrie), wie umgekehrt ein entsprechendes sphärisches Genie die Euklidische Planimetrie konstruieren. Diese ganze Überlegung ist nun leicht auf höhere Dimensionszahl zu übertragen. So gut wie jener zweidimensionale Mathematiker sich unsere (dreidimensionale) Raumlehre konstruieren und seine eigene „Ebene" als Gebilde einer Gleichung 1. Grades von drei Veränderlichen, die Kugelfläche seiner sphärischen Kollegen dagegen als Bild der Gleichung $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ erkennen könnte, können auch wir uns über die unserem Raume eigene

Dreizahl der Dimensionen in Gedanken erheben, uns also in einen vierdimensionalen Raum mit den Koordinaten x, y, z, u versetzen und nun einsehen, daß unser „Euklidischer Raum" wieder durch eine Gleichung 1. Grades in diesen 4 Veränderlichen ($ax + by + cz + du = e$) dargestellt wird, daß ihm gleichberechtigt aber natürlich beliebige andere dreidimensionale Gebilde sind, die anderen Gleichungen entsprechen (z. B. $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = r^2$, die vierdimensionale „Kugel"). Diese anderen „nichteuklidischen" Räume sind dann „gekrümmt", im Gegensatz zu unserem „ebenen" Raum, und man kann natürlich die darin geltende Geometrie vollständig im Kopfe konstruieren, obwohl wir sie ebensowenig anschaulich vorstellen können, wie jener „ebene" Mathematiker die Figuren der Kugelfläche oder umgekehrt oder beide unseren dreimensionalen „Körper".

Das Problem, ob nun vielleicht in Wahrheit unser Raum nicht sogar ein solcher gekrümmter ist, und die euklidische Geometrie nur deshalb annäherungsweise bei uns gilt, weil die von uns gemessenen Strecken zu klein sind (s. o.), ist oft diskutiert. Gauß hat, um die Frage experimentell zu entscheiden, ein möglichst großes Dreieck (Brocken, Inselsberg, Hoher Hagen) mit Berücksichtigung aller Fehlerquellen möglichst genau ausgemessen, jedoch keine Abweichung der Winkelsumme von 2 R außerhalb der Fehlergrenze gefunden. Jedenfalls sieht man, wenn man einmal ganz klar diese Dinge durchdacht hat, daß es unmöglich ist, unsere Geometrie, wie noch Kant als selbstverständlich annahm, für einzig a priori gewiß zu halten. Ihre Axiome (Grundsätze) sind Erfahrungsergebnis in dem Sinne, daß nur die Erfahrung uns darüber belehren kann und belehrt hat, daß diese Euklidische Geometrie sich den Tatsachen anscheinend vollständig anschließt[62]. Die Geometrie wird so angesehen schon zu einer Art Physik des Raumes, einstweilen freilich zu einer von der übrigen Physik völlig getrennten, da ja nach allgemeiner Meinung die Geometrie für sich allein besteht und die physikalischen Gesetze diesen Rahmen nur ausfüllen, ohne in einem inneren Zusammenhange damit zu stehen.

Es war nun ein genialer Gedanke des Hauptförderers der „Metageometrie", Riemann, daß diese letztere allgemein verbreitete Vorstellung vielleicht falsch sein, „der Grund der Maßverhältnisse des Raumes" vielmehr auch außerhalb seiner selbst „in darauf wirkenden bindenden Kräften gesucht werden" könne[63]. Aber erst 70 Jahre nach Riemann ist dieser geniale Gedanke durch Einstein in die Tat umgesetzt worden. Um diese Leistung zu verstehen, muß man sich zunächst klar machen, in welcher Weise Riemann

den Begriff des Raumes erweitert hat. Wir dachten uns oben die Mathematiker auf der Ebene oder der Kugelfläche imstande, nicht nur die Geometrie ihres zweidimensionalen „Raumes" oder „metrischen Feldes", wie wir jetzt sagen wollen, zu ermitteln, sondern sich auch andere solche Geometrien als ihre eigenen zu konstruieren, indem sie ein dreidimensionales Feld (unseren Raum) zu Hilfe nehmen und irgendeine beliebige Gleichung zwischen den drei Koordinaten x, y, z desselben als zweidimensionales Feld, und zwar im allgemeinen als gekrümmtes, deuten. In jedem solchen Falle gilt nun aber auf einer solchen Fläche, gleichgültig wie stark und nach welchem Gesetz sie gekrümmt ist, die gewöhnliche (euklidische) Planimetrie im unendlich Kleinen, d. h. sie gilt mit beliebiger Annäherung, wenn man nur sich auf einen hinreichend kleinen Bereich beschränkt. (Ein Stückchen z. B. von einer Kugeloberfläche kann immer als eben angesehen werden.) Das läßt sich nun, wie schon oben angedeutet, auch auf unseren Raum von drei Dimensionen übertragen, und eben auf diesem Gedanken beruht Riemanns Leistung. Nach ihm ist der Begriff „dreidimensionaler Raum" so zu erweitern, daß er alle möglichen Räume umfaßt, daß jedoch in all diesen im unendlich Kleinen die gewöhnliche Euklidische Geometrie gilt. Man hat mit Recht dies als ein Seitenstück zu der Leistung Maxwells und Faradays in der Physik bezeichnet. Wie diese die Newtonsche Fernwirkung durch die Nahewirkung (das Integralgesetz durch das Differentialgesetz) ersetzten, so fordert Riemann in der Geometrie das Euklidische Gesetz nur noch als Differentialgesetz (im unendlich Kleinen), und gewinnt dadurch für das Integralgesetz, d. h. für die endlich großen Bereiche, die Freiheit aller denkbaren dreidimensionalen Geometrien.

Von hier zum Gipfel sind es nun nur noch zwei Schritte. Der erste ist die Hereinziehung der Zeit, das ist hauptsächlich Minkowskis Verdienst. Es handelt sich in Wahrheit bei dieser ganzen Überlegung nicht um die Geometrie allein, sondern um die Lehre von Raum und Zeit zusammen, die Kinematik (s. S. 52). Nach der Relativitätstheorie bilden Raum und Zeit eine „Union" (Minkowski), die nur durch eine sozusagen willkürliche Projektion getrennt wird. (Die Willkür liegt in der Wahl der beliebigen „Ortszeit" t, t'). In dieser Kinematik spielt nun c die Rolle einer charakteristischen Konstanten (s. o.). Es ist die Grenzgeschwindigkeit, der alle Geschwindigkeiten sich nur nähern, die sie aber nie erreichen können. (Dies entspricht etwa dem einfachen Satz in jener Kugelgeometrie, daß eine „gerade" Strecke, d. i. ein Hauptkreisbogen, höchstens gleich dem

Hauptkreis werden kann.) Die Veränderlichen x, y, z, t bilden so die Koordinaten einer ganz bestimmten vierdimensionalen Geometrie mit charakteristischer „Krümmung", die eben mit c zugleich gegeben ist[64]. (Das Wort ist hier natürlich nur bildlich zu nehmen.) — Und nun der letzte Schritt: Diese charakteristische Krümmung ist aber keine ein für allemal feststehende Größe. So wenig es nur *eine* nichteuklidische Geometrie, sondern nach Riemann unendlich viele gibt, so wenig gibt es auch nur die eine nichtgalileische Kinematik der „speziellen Relativitätstheorie". Es gibt vielmehr unendlich viele solche nichtgalileische Kinematiken. Und wenn Riemann nach den „bindenden Kräften" fragte, die die Metrik des Raumes (das metrische Feld) bestimmen, so gibt *Einstein* die Antwort: Diese bindenden Kräfte sind die — Gravitationskräfte. Das Gravitationsfeld bestimmt das „metrische Feld". *Welche Kinematik hier in meiner Umgebung gilt, das kommt auf die mich umgebende Verteilung von Materie an. Die Zeit-Raumverhältnisse sind eine Funktion der Materie, nun erst ist die Geometrie oder vielmehr die Kinematik zu einer „Physik des Raumes" geworden, ja sie ist ein Bestandteil der Physik selbst geworden.* Es gibt also gar keine allgemein gültige Kinematik (und Geometrie), sondern es gilt eben überall diejenige Kinematik, die durch die vorhandene materielle Verteilung bestimmt ist. Anders gesagt, das „metrische Feld" ist in genau demselben Sinne Funktion, wie ein elektrisches oder magnetisches Feld Funktion der betr. „elektrischen Ladung" bzw. des Magnetpols ist. Wie es ohne letztere kein elektrisches oder magnetisches Feld gibt, *so gibt es auch ohne Materie kein „metrisches Feld"*, d. h. *keinen Raum und keine Zeit.* Weit entfernt davon, bloße leere „Anschauungsform a priori" zu sein, werden letztere also geradezu zum physikalischen „Ding" gezogen. Die Welt ist räumlich-zeitlich-materiell in unlösbarer Einheit.

Wir haben hiermit den Gipfel erklommen und wollen nun einen kurzen Rundblick werfen, wobei uns manches Bekannte in neuem Lichte erscheinen, vieles aber auch ganz neu auftauchen wird. An erster Stelle erhebt sich hier nun der ganze Fragenkomplex, der durch das Thema „Kant und Einstein" gekennzeichnet wird. Wir können hier dazu nur ein paar kurze Andeutungen geben. Wenn von der Relativitätstheorie sonst nichts Bestand haben sollte, so hat sie zum mindesten *das* historische Verdienst, daß

sie die Gegenwart gezwungen hat, sich wieder einmal gründlich mit dem Raum-Zeitproblem zu befassen und sich nicht, wie das in weitesten Kreisen bereits als ausgemachte Sache galt, einfach bei der Autorität Kants zu beruhigen. Die Relativitätstheorie hat aber meines Erachtens auch sachlich einen wirklichen Fortschritt über Kant hinaus gebracht. Was die seit Bolyai, Lobatschefsky und Riemann aufgeblühte, rein spekulative „Metageometrie" nicht vermocht hat, weil sie eben auf das rein mathematische Gebiet beschränkt war, das hat die Allgemeine Relativitätstheorie durchgesetzt, weil sie eventl. als physikalische Wirklichkeit erweist, was jene bloß als mögliche Gedankenkonstruktion hinstellte. Wir müssen aus ihr notwendig folgern, daß unserer Raum-Zeitanschauung objektiv irgendeine Bestimmung der physikalischen Wirklichkeit entspricht, ganz ähnlich wie etwa unserer Lichtempfindung die betr. elektrischen Wellen oder unserem Wärmegefühl die Molekularbewegung, und daß wir deshalb auch nicht mehr in der Lage sind, die alleinige Gültigkeit der euklidischen Geometrie deshalb zu behaupten, weil unsere Anschauung allerdings an diese gebunden ist. Von diesem Vorurteil der Anschauung gilt es eben, sich wie von zahl reichen anderen mittels des Verstandes zu befreien.

Kant hat richtig gesehen, daß Räumlichkeit und Zeitlichkeit überhaupt als „Formen der Anschauung" ebenso subjektiv-idealer Natur sind, wie Farben, Töne, Wärmen usw. (im Gegensatz zu Lockes Unterscheidung primärer und sekundärer Qualitäten). Sein Fehler war aber, daß er diese Einsicht verbinden zu müssen glaubte (sei es nun als Grund oder als Folge) mit der Behauptung der „apodiktischen Gültigkeit" der geometrischen Sätze, die für ihn selbstverständlich die euklidischen waren. Es kann keinem Zweifel unterliegen, und die heutigen Anhänger Kants sollten sich meines Erachtens nicht so viele Mühe geben, sich um die Anerkennung dieser Tatsache zu drücken, daß Kants Beweisführungen großenteils hinfällig werden, sobald man mit der allgemeinen Relativitätstheorie anerkennt, daß die euklidische Geometrie in bestimmten Fällen nicht etwa eine unter vielen möglichen, sondern geradezu falsch ist. Daran hat Kant nicht nur nicht gedacht, er geht vielmehr bei seiner ganzen Argumentation von der schlechthinnigen Gültigkeit der euklidischen Geometrie aus. Und diese Gültigkeit bedeutet für ihn nicht nur Gültigkeit für die Anschauung — wogegen ebensowenig etwas zu sagen wäre, wie gegen die Behauptung, daß die Farben uns subjektiv genommen als kreisförmig angeordnet erscheinen, während sie objektiv eine lineare Folge bilden — Kant leitet viel-

mehr ganz unstreitig aus eben jener Annahme der (subjektiven) reinen Anschauungsform die Gültigkeit der euklidischen Geometrie für den ganzen Bereich der Erkenntnis der empirischen Wirklichkeit schlechthin ab. Das läßt sich aber nun einmal mit der allgemeinen Relativitätstheorie nicht vereinigen. Denn nach ihr gilt objektiv die euklidische Geometrie nur deshalb angenähert, weil wir auf einen verhältnismäßig kleinen Bereich der (objektiv) nichteuklidischen Welt beschränkt sind. Für diesen doch zweifellos einen guten Sinn besitzenden Satz bleibt in Kants Theorie schlechterdings kein Platz übrig, weil sie auf diesem Gebiet wie auch sonst überall die beiden Fragen der Realität der Erkenntnisobjekte und der Gewißheit der Erkenntnisurteile unlöslich zusammenschmiedet. Im letzten Grunde liegt dies an dem Grundfehler alles reinen Idealismus (dies Wort hier natürlich nur erkenntnistheoretisch genommen), daß er den Anteil des Objekts an dem Zustandekommen der Erkenntnis zu stark vernachlässigt. Doch sei dem wie ihm wolle — für die Relativitätstheorie ist es jedenfalls eine Frage, die nur auf Grund der gesamten physikalischen Erfahrung entschieden werden kann, was für ein Zeit-Raumschema im einzelnen Falle wirklich gilt. Mag die Zeit-Raum-Anschauung daher auch als solche (wie die Sinnesqualitäten) nur im Subjekte existieren, der Welt selbst ist irgend eine Bestimmung, eine Mannigfaltigkeitsordnung eigen, die diese unsere Raum-Zeitanschauung zwar im normalen Falle zur euklidischen werden läßt, uns aber gleichwohl zwingt, auf die Welt als Ganzes das übereuklidische Schema anzuwenden, und uns damit über die Enge unserer Anschauung in ähnlicher Weise zu erheben, wie wir es nach der Wellenlängenskala (S. 101) hinsichtlich des Farbenkreises der Anschauung tun.

Mit diesen paar kurzen Andeutungen ist das Problem natürlich nicht angenähert erschöpft, über das heute schon eine umfangreiche Sonderliteratur vorliegt. Ich muß es mir versagen, näher darauf einzugehen. Nur gegen eins mag hier ausdrücklich noch Verwahrung eingelegt werden, daß man nämlich, wie es nicht selten geschieht (s. d. Literaturverzeichnis in Anm. 58) „Kant contra Einstein“ in dem Sinne ausspielt: Weil nach Kant Kinematik und Mechanik zweierlei getrennte Dinge sind, darum ist Einstein auf falschem Wege, wenn er sie zusammenschweißt u. ä. Das ist ungefähr so, wie wenn man vor dem in gewissen theologischen Kreisen die moderne historisch-kriti-

sche Forschung über die Bibel mit dem Hinweis auf — Bibelstellen (wie z. B. 2. Tim. 3, 16, 2. Petr. 1, 20) erledigte. Wir müssen diese Fragen im übrigen der Erkenntnistheorie überlassen und wenden uns nunmehr zu anderen, den Inhalt der Wirklichkeit selbst betreffenden Folgerungen

Zunächst kommen wir auf den Massenbegriff zurück. Schon in der speziellen Relativitätstheorie spielt dieser eine eigentümliche Rolle. Nach ihr erscheint die Masse als veränderlich mit der Geschwindigkeit, ebenso wie gemäß der oben angedeuteten älteren (mit absoluten Geschwindigkeiten der Elektronen gegen den Äther rechnenden) Theorie Abrahams u. a. In der Relativitätstheorie ist diese Veränderlichkeit jedoch wieder eine rein kinematisch aufzufassende Sache. Wird eine Masse nämlich gegen den Beobachter mit der Geschwindigkeit v bewegt, so erscheint sie diesem größer (m), als dem, der sich mit der Masse mitbewegt (m_0), für den sie also ruht $\left(m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}\right)$. Wendet man diese Theorie auf die oben erwähnten Kaufmannschen Versuche an, so zeigt sich, daß diese überhaupt nichts mehr darüber auszusagen gestatten, ob die Masse der Elektronen rein elektromagnetischer Natur ist oder nicht, da eben die durch die Versuche konstatierte Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit jetzt für jede Art von Masse gilt. Andererseits haben aber erneute Messungen an β-Strahlen nach anderen Methoden durch Bucherer, Hupka u. a. ergeben, daß die nach der Relativitätstheorie berechneten Änderungen tatsächlich den Beobachtungen gut entsprachen, während die nach der Absoluttheorie berechneten Ergebnisse zu diesen Beobachtungen nicht paßten. Damit war wenigstens eine direkte Bestätigung der Relativtheorie gegeben, denn alles andere, die Erklärung des negativen Ergebnisses des Michelsonversuchs usw. waren doch im wesentlichen nur indirekte Gründe zu ihren Gunsten. Die Theorie erschien als die, die am einfachsten und einheitlichsten alle diese Erscheinungen[65] zusammenfaßte. Das Hauptinteresse an ihr liegt aber natürlich gerade da, wo sie in ihren Folgerungen positiv schöpferisch über die klassische Mechanik und Elektrodynamik hinausgeht, wo sie also neue, bisher nicht beobachtete Erscheinungen voraussagt. Diese sind jedoch keineswegs einfach zu finden, denn, wie schon unsere obige summarische Darstellung erkennen läßt, beginnt die Abweichung der Einsteinschen Theorie von der älteren Auffassung immer erst merklich zu werden bei Geschwindigkeiten, die einigermaßen mit der Lichtgeschwindigkeit vergleichbar sind. (Für alle Geschwindigkeiten v, die klein gegen c sind, ist $\beta = v/c$

nahezu 0, $\sqrt{1-\beta^2}$ daher nahezu 1 und dann geht die Einsteinsche Kinematik in die Galilei-Newtonsche über.) Nun sind aber tatsächlich alle uns praktisch verfügbaren Geschwindigkeiten klein, selbst die größte, die der Erdbewegung, beträgt kaum $^1/_{10000}$ der Lichtgeschwindigkeit. Nur in den Elektronen- und Ionenbewegungen der Kathoden- und Kanalstrahlen, des Bohrschen Atommodells und vor allem der α- und β-Strahlen des Radiums haben wir Bewegungen von einer Geschwindigkeit, die mit c annähernd vergleichbar ist, nur bei ihnen durfte man also auf direkte Bestätigungen der Relativtheorie hoffen. Tatsächlich findet denn auch, wie Sommerfeld gezeigt hat[66], die R. Th. eine glänzende Bestätigung in der Theorie der „Feinstruktur" der Spektrallinien, während auch hier die Absoluttheorie falsche Ergebnisse liefert.

Des weiteren zeigte nun aber Einstein schon in der „speziellen" Relativtheorie, daß die „träge Masse" eines Körpers ganz allgemein aufzufassen sei als sein gesamter Energieinhalt, dividiert durch den konstanten Faktor c^2, also $M = {}^E/_{c^2}$ oder $E = Mc^2$. (Für 1 g Masse ergibt dies $9 \cdot 10^{20}$ Erg oder rund zehn Billionen Meterkilogramm oder, in Wärme umgerechnet, ca. 20 Billionen cal.) Daß so ungeheuerliche Energiemengen in den Körpern stecken sollten, erscheint allerdings zunächst unglaubwürdig. Man braucht aber nur an die ganz enormen Energiebeträge der radioaktiven Umwandlungen und andererseits an das Rutherford-Bohrsche Atommodell zu denken, um das weniger unbegreiflich zu finden. (Die völlige Umwandlung eines Gramms Radium in Emanation erzeugt z. B. rund 3 Milliarden g-cal. = rund 1 Milliarde mkg, das ist freilich immer erst etwa der 7000. Teil des nach Einstein in 1 g Masse steckenden Energievorrats.) Hiernach würde also auch der Verlust von Energie, z. B. durch Strahlung, einen Körper leichter machen, d. h. seine Masse verringern, umgekehrt eine Aufnahme von Energie die Masse vergrößern; beides natürlich bei den gewöhnlichen Vorgängen in einem viel zu kleinen Maße, als daß es direkt feststellbar wäre. Höchstens bei den großen Energieverlusten bei radioaktiven Vorgängen könnte eine experimentelle Prüfung der Theorie gelingen. In jedem Falle aber *fällt vom Standpunkt dieser Theorie aus also das Gesetz von der Erhaltung der Masse mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie zusammen.* Das ist allein schon ein so fundamentales Ergebnis, daß der Naturphilosoph nicht daran vorübergehen kann. Aber die allgemeine Relativitätstheorie erweitert dies Ergebnis nun noch in unerhörtem Maße.

Erinnern wir uns jetzt an das S. 56 Auseinandergesetzte. Wir hatten dort gesehen, daß man, auch wenn man in einem undurchsichtigen Kasten eingeschlossen wäre, eine Beschleunigung dieses Kastens selbst samt seinem Inhalt, durch im Innern auftretende Wirkungen, z. B. an einer Schüssel mit Wasser, feststellen könnte und wir sahen, daß die Wirkungen der sog. „Zentrifugalkräfte" sich in derselben Weise zur „absoluten" Feststellung der Rotation benutzen ließen. Beides erklärte die bisherige (Galilei-Newtonsche) Mechanik durch die „Trägheit", die hierbei „Scheinkräfte" bewirkt. Es ist nun aber klar, daß unser Kasten ganz genau die gleichen Erscheinungen zeigen würde, wenn er, anstatt beschleunigt zu werden, in ein ruhendes Gravitationsfeld von passender Stärke gestellt würde, daß man also, im Innern sitzend, nicht entscheiden könnte, ob Beschleunigung und infolgedessen Trägheitswirkung etwa das Hinaufsteigen des Wassers an dem einen Rand verursachte, oder ob Anziehung seitens eines hinreichend großen Körpers die Ursache sei. Denn Trägheit und Gravitation sind ja für alle Körper miteinander genau proportional, so daß die Erscheinungen in beiden Fällen völlig gleich verlaufen würden. Aus dieser Proportionalität macht nun Einsteins Theorie Identität und nimmt damit zugleich den oben dargelegten, zunächst so ungeheuerlich erscheinenden Gedanken Machs wieder auf, daß das Trägheitsgesetz sich tatsächlich auf den Fixsternhimmel beziehe. Denn Einsteins Theorie führt zu der Folgerung, daß in dem „metrischen Felde" hinreichend weit entfernter, hinreichend vieler im großen und ganzen regellos verteilter Massen gerade die gewöhnliche Kinematik für nicht zu große Geschwindigkeiten gilt. Statt ein Grundgesetz zu sein, ist dieser einfache Fall aber jetzt nur Grenzfall eines im allgemeinen viel verwickelteren Sachverhalts, den vollständig zu beherrschen nur dem mit allen Methoden mathematischer Begriffsbildung vertrauten Fachmann möglich ist. Man wird aber auch ohne das es leicht begreiflich finden, daß die Galileische Kinematik also jedenfalls in der Nähe größerer Massen nicht gilt, und daß das „Newtonsche Gravitationsgesetz" natürlich ebenfalls nur eine Annäherung ist, die für weit voneinander entfernte Massen gilt. Rücken die Massen näher aneinander, so treten an Stelle der Newtonschen die viel verwickelteren Einsteinschen Formeln. Hier aber ergab sich nun eine erste glänzende Bestätigung der Theorie. Der sonnennächste Planet Merkur zeigt eine Abweichung seiner Bahn von der nach Newton berechneten, die bisher nur durch besondere Annahmen zu erklären war[67]. Die ganze Bahnellipse dreht sich nämlich allmählich herum, der Betrag ist 43" pro

Jahrhundert. Genau diesen Betrag der „Perihelbewegung“, wie man diese Erscheinung nennt, konnte nun Einstein aus seiner Theorie folgern. — Eine zweite ebenso überraschende Folgerung ist die, daß die Lichtstrahlen, die in der nächsten Nähe großer Massen, z. B. der Sonne, vorübergehen, eine Ablenkung erfahren müssen. Nach Einstein ist ja in der nächsten Umgebung solcher Massen das „metrische Feld“ erheblich anders als im massenfreien Gebiet, daher gilt hier auch eine andere Lichtgeschwindigkeit, die ja in der Theorie die Rolle einer den Feldzustand charakterisierenden Größe spielt.

Die englische Sonnenfinsternisexpedition vom 29. Mai 1919 hat für eine Anzahl in diesem Augenblick sonnennaher Fixsterne die Örter genau photographisch aufgenommen und mit den bekannten Örtern verglichen. Es ergaben sich dabei Ablenkungen, die befriedigend mit Einsteins Formel sich wiedergeben lassen. Freilich ist auch hier der Einwand möglich, daß gewöhnliche Strahlenbrechung in der Sonnenkorona, deren Grenze nicht feststeht, die Ursache sein könnte[**]. Eine dritte Bestätigung liefern gewisse Verschiebungen der Spektrallinien im Fixsternspektrum, die nach der Relativtheorie eintreten müssen. Auch diese Beobachtungen sind aber noch nicht einwandfrei zu deuten[**]. So wird man, obwohl es immerhin bemerkenswert ist, daß so viele Bestätigungen nebeneinander schon gefunden sind, es doch noch nicht für ausgemacht erklären dürfen, daß die Einsteinsche Theorie schon zum sicheren Bestand der Wissenschaft gehöre. Bedenken wir aber das S. 26, 75 Entwickelte, so werden wir doch schon an den bloßen Umstand, daß eine solche Theorie von so unerhörter Kühnheit vorliegt, bedeutsame allgemeine Folgerungen anknüpfen dürfen. Wir können diese zusammenfassen unter dem Stichwort

Die Einheit des physikalischen Weltbildes.

Die Entwicklung der Physik und Chemie in den letzten Jahrzehnten hat mit unwiderleglicher Klarheit gezeigt, *daß alle Linien, auf denen die Forschung auf den verschiedenen Gebieten vorgerückt ist, letzten Endes konvergieren*, so daß wir überzeugt sein dürfen, nur mehr einer Einheit des ganzen Gebietes schon sehr nahegekommen zu sein. Wir haben gesehen, wie zunächst Mechanik und Akustik, dann Mechanik und Wärmelehre, ferner Elektromagnetismus und Optik zusammenliefen. Nunmehr sind auch Elektrik und Mechanik auf dem besten Wege, zu einer Einheit sich zu verschmelzen und da die Atome sich immer deutlicher als verwickelte elektrische Systeme

herausstellen, so unterliegt es keinem Zweifel mehr, daß allen physikalisch-chemischen Erscheinungen letzten Endes ein und derselbe Tatbestand zugrunde liegt. Wir schließen das nicht aus Gründen a priori eines „monistischen“ Dogmas, sondern einfach a posteriori aus der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft, die uns klar vor Augen liegt. Zu jenem Grundbestand verhalten sich alle einzelnen Erscheinungen: Chemische Wirkungen, Lichtemission, Gravitation, Elastizität, Wärmeleitung usf. ganz ähnlich, wie sämtliche Einzelerscheinungen des Elektromagnetismus (und der Optik) sich zu dem durch die Maxwellschen Gleichungen formulierten Grundtatbestand verhalten, nur daß im letzteren Falle überall noch Körper- (Material-) Konstanten als solche angenommen werden müssen, während dort alle „Materialkonstanten“, d. h. sämtliche spezifischen Eigenschaften irgendwelcher Materie, selber als ableitbar aus dem Grundbestand erscheinen müssen. Vorläufig ist das allerdings noch keineswegs vollständig möglich, immerhin hat, wie schon S. 104 erwähnt, gerade die neueste Entwicklung schon in zahlreichen Fällen neue Zusammenhänge zwischen solchen Konstanten aufgedeckt. So läßt sich, um den früher angeführten jetzt noch ein besonders charakteristisches Beispiel hinzuzufügen, auf Grund der Planckschen Quantentheorie, wie Born u. a. gezeigt haben, die Elastizität mit der Lösungswärme in unmittelbaren Zusammenhang bringen[7*]. — Daß wir diese Einheit allerdings einstweilen noch nicht erreicht haben, ist klar. Es wurde schon oben auf die Bedenken hingewiesen, die der Quantentheorie und der Relativitätstheorie von vielen Physikern noch heute entgegengebracht werden u. a. m. Alles in allem genommen ist auch bisher noch immer ein gewisser Dualismus der Anschauungen unverkennbar. Wir haben auf der einen Seite die auf den Gipfelpunkt der Abstraktion erhobene Einsteinsche „Feld“-Theorie, die die Maxwell-Hertz-Lorentzsche unter Einbeziehung der ganzen Kinematik und Gravitation sozusagen in sich aufgesogen hat. Zeit, Raum und Materie erschienen hier als unlöslich miteinander verknüpfte Erscheinungsweisen eines einheitlichen Etwas, das in der Theorie gewöhnlich einfach mit „Welt“ bezeichnet wird. Als Grundgesetz derselben fungieren gewisse Gleichungen ganz in derselben Weise, wie in der Maxwellschen Theorie die zweimal drei Maxwellschen Gleichungen, und was hier die elektrische und magnetische Feldstärke mit ihren je drei Raumkomponenten (also zwei „Vektoren“) sind, das ist dort der zehnkomponentige „Fundamentaltensor“. Wie Hilbert und Weyl

gezeigt haben, läßt sich so die ganze „Welt", d. h. sämtliche Gesetze der Kinematik, Geometrie, Mechanik (einschl. Gravitation) einerseits, des Elektromagnetismus andererseits auf Gleichungen zurückführen, als deren Folge auch der allgemeine Erhaltungssatz, der „Energieimpulssatz", der hier das Gesetz von der Erhaltung der Masse und Energie zusammenfaßt, erscheint. Mit Recht spricht A. Haas in diesem Sinne von einer „Axiomatik der modernen Physik"[71]. Die letztere nimmt hier sozusagen den Charakter der Geometrie an, die sie in sich aufzunehmen im Begriff ist, während andererseits diese damit an dem empirischen Charakter der Physik teilnimmt. Es liegt jedoch in dieser Auffassung zweifellos auch eine starke Gefahr eines überwiegenden Hinneigens zu einem bloßen Formalismus, wie man z. B. deutlich an folgendem Ausspruch Weyls erkennt: „Immer klarer tritt zutage, daß die Physik eine Wissenschaft von genau dem gleichen Gepräge ist, wie es die Geometrie war, die jetzt von ihr aufgesogen wird. Maxwellsche Theorie und analytische Geometrie sind sich in ihrer mathematischen Konstitution zum Verwechseln ähnlich. Die Physik, das stellt sich damit heraus, handelt gar nicht von dem Materiellen, Inhaltlichen der Wirklichkeit, sondern, was sie erkennt, ist lediglich dessen formale Verfassung. Sie hat für die Wirklichkeit die gleiche Bedeutung wie die formale Logik für das Reich der Wahrheit. ... Ihre Gesetze werden ebensowenig in der Wirklichkeit jemals verletzt, wie es Wahrheiten gibt, die mit der Logik nicht im Einklang sind; aber über das Inhaltlich-Wesenhafte dieser Wirklichkeit machen sie nichts aus, der Grund der Wirklichkeit wird in ihnen nicht erfaßt. Wenn es der Wahn der scholastischen Methode ist, aus bloß Formalem Wesenhaftes deduzieren zu wollen, so ist die Weltanschauung, welche man Materialismus nennt, nur eine Spielart der Scholastik" (Weyl, „Zeit, Raum und Materie", Vorlesungen über allg. Rel. Theorie, Schluß.) Ich halte solche Aussprüche für bedenklich. Nicht nur ist zu fürchten, daß der letzte Satz ein willkommenes Beutestück aller derer werden wird, die es sich mit der Widerlegung des Materialismus leicht machen wollen, sondern die Sache ist hier auch m. E. insofern einseitig dargestellt, als der Autor, indem er hier sein Augenmerk nur auf den grandiosen Gedankenbau der Einsteinschen Theorie richtet, doch wohl nicht genügend berücksichtigt, daß neben diesem die moderne Physik und Chemie andererseits in der Atomistik, Quanten- und Elektronenlehre doch ganz real gemeinte Aussagen besitzt, die man schlechterdings wenigstens einstweilen nicht in dieser formalistischen Weise deuten kann[72]. Die Erfolge

auf diesem Gebiete sind nicht minder glänzend, als die auf dem Gebiete der Feldtheorien. Hierin liegt nun allerdings, wie schon gesagt, ein bislang nicht gelöster Dualismus, den auch W e y l an anderer Stelle seines Buches andeutet: „Wieder ist die Physik, heute als Feldphysik, auf dem Wege, die Gesamtheit der Naturerscheinungen auf ein e i n z i g e s N a t u r g e s e t z zurückzuführen, ein Ziel, dem sie schon einmal . . .“ (zu Newtons Zeit) . . . . nahe zu sein glaubte. Doch ist auch heute dafür gesorgt, daß die Bäume nicht in den Himmel wachsen. Wir wissen ja nicht, ob . . . die Materie . . . tatsächlich rein „elektrischer“ Natur ist. Vor allem aber hängt die dunkle Wolke aller jener Erscheinungen, mit denen wir uns heute notdürftig vermittels des Wirkungsquantums auseinandersetzen, über dem Land der physikalischen Erkenntnis, wer weiß welchen neuen Umsturz drohend“ (S. 170). In der Tat hat die Relativitätstheorie bisher noch keinen Weg gezeigt, die spezielle Beschaffenheit der Materie, also z. B. die Tatsache des periodischen Systems, abzuleiten, ganz allgemein: die Tatsache, daß Elektrizität, Materie, Energie stets nur in ganz bestimmten „Quanten“ (Elektronen, Atomen) vorkommen. Darin liegt, wohlgemerkt, kein W i d e r s p r u c h. Die Relativitätstheorie läßt diese Frage nur offen. Es ist aber nichtsdestoweniger nach allem bisherigen mir nicht zweifelhaft, daß eines Tages auch diese Synthese vollzogen werden wird —. Denn wo Beziehungen bestehen, da steckt auch eine Einheit hinter ihnen, und daß zwischen den durch die Quanten- und Elektronentheorie dargestellten atomistischen Zuständen und Vorgängen einerseits, dem „Felde“ andererseits Zusammenhänge bestehen, zeigen ja die Erscheinungen der Lichtemission und -Absorption offenkundig. Dies war ja nun freilich schon auf dem Standpunkt der Maxwellschen Theorie ebenso. Wir sind aber doch einen erheblichen Schritt weiter durch die Einsicht gekommen, daß die „Felder“, die in den Lichtstrahlen oder elektrischen Wellen schwingen, an elektrischen Ladungen hängen, die innerhalb der Atome vorhanden sind, und durch deren Anordnung und Bewegungen schon heute viele der wesentlichsten Eigenschaften der letzteren erklärt werden können. So ist es nicht zu viel behauptet, wenn wir sagen, daß die Physik und Chemie, die hier offenbar in eins zusammenfallen, auf dem besten Wege zur endgültigen Lösung des Rätsels der Materie sind und wir können, diese teilweise vorausnehmend, ruhig sagen: Es ist so gut wie sicher, daß nicht nur alle chemischen Elemente zurückführbar sind auf eine Grundsubstanz, sondern, daß auch

alle physikalischen „Kräfte“ (Energien) letztlich auf eine Art zurückgehen, und es ist weiter überaus wahrscheinlich, daß auch diese Grundenergie und die Grundsubstanz schließlich ein und dasselbe sind. Will man es bezeichnen, so ist „Elektrizität“ vielleicht das geeignetste Wort dafür, nur ist zu bedenken, daß dieser Begriff so zu erweitern ist, daß die Einsteinschen „Felder“ mit umfaßt werden. — Doch sei dem, wie ihm wolle, wir müssen hier, wie schon gesagt, der Zukunft die endgültige Synthese noch überlassen — lange wird es voraussichtlich nicht mehr dauern — dürfen aber für die Philosophie einstweilen die Sache so ansehen, als ob diese Arbeit schon geleistet wäre. Denn für den Philosophen kommt es, wie schon oben (S. 101) gesagt, niemals auf den zufälligen Stand an, den die Wissenschaft gerade erreicht hat, sondern auf die Prinzipienfrage, was sie erreichen kann, und die hat die bisherige Entwicklung deutlich genug beantwortet.

Welche philosophischen Folgerungen sind nun aus dieser — in Gedanken vorweggenommenen — Einheit des physikalischen Weltbildes zu ziehen? — Wir erkennen zunächst, daß dieses Weltbild ein *dynamistisches* ist, der „Materialismus“ im engeren Sinne dieses Wortes, der Glaube an die ewige, unzerstörbare „Materie“ der einfachen Erfahrungswelt (unabhängig von allen ihren Veränderungen), ist damit endgültig ad acta gelegt. Was wir „Materie“ nennen, ist ein mehr oder minder beständiger *Vorgang*. Was wir als „Eigenschaften“ dieser oder jener Art von Materie bezeichnen und ihr an sich zukommend zu denken, ist eine Funktion dieser sich abspielenden Vorgänge, z. B. die Farbe bedingt durch die Schwingungszahl der umlaufenden Elektronen. Die vordem als ursprünglichste, unmittelbarste Eigenschaft aller „Materie“ betrachtete „Trägheit“ ist ein *Feld*phänomen, die „Schwere“ ebenfalls. So ist im Grunde genommen jedes Atom und jedes Elektron überall, im ganzen Raume. Man hat dies schon früher auf dem Standpunkt der Ätherhypothese oft so ausgedrückt: die Materie besteht aus „singulären Stellen“ des Äthers, oder auch die Atome als Ätherwirbel und dergleichen gedeutet. Es ist zwar bei diesen Versuchen damals, obwohl selbst ein Lord Kelvin (W. Thomson) sich mit ihnen abgegeben hat, nicht viel Brauchbares herausgekommen, sie haben aber das hier für uns Wesentliche schon gezeigt, daß nämlich die *Beständigkeit eines Dinges nicht in der geschehenslosen Ruhe eines bloßen Daseins zu bestehen braucht, sondern auch in der Konstanz eines Vorgangs liegen kann.* Ein solcher kann dann entweder stationär oder periodisch sein, d. h. es spielt sich entweder in jedem beliebig kleinen Zeitteilchen immer

das gleiche ab, wie z. B. beim Strömen einer Flüssigkeit unter konstantem Druck, oder aber es spielt sich je in einer bestimmten endlichen Zeit, der „Schwingungsdauer", immer wieder derselbe Vorgang ab. Nach allem, was gesagt wurde, ist es fast selbstverständlich, daß für unseren Fall nur Vorgänge der letzteren Art in Frage kommen. Allein es ist dann zu erwarten, daß auch der Vorgang „Wasserstoffatom" oder „Zuckermolekül" der allgemeinen Regel Tribut wird zahlen müssen, daß es streng periodische Vorgänge eigentlich nirgendwo gibt, da ja kein System vollständig isoliert werden kann. So wird man an die Vergänglichkeit auch dieser Vorgänge denken, die anscheinend ähnlich so stabil, wie z. B. die Erdrotation sind, und die Erscheinungen der Radioaktivität beweisen, wie es scheint, daß wenigstens in bestimmten Fällen, vielleicht aber überall, nur nicht immer in nachweisbarem Grade, auch Atome zerfallen, d. h. die Vorgänge unter einer plötzlichen Katastrophe in neue Bahnen einlenken. Wir kennen bisher kein Mittel, diesen plötzlichen neuen Vorgang selbst zu beeinflussen, können vielmehr nur feststellen, daß und bei welchem Bruchteil der vorhandenen Atome er eintritt. (Sicher nachgewiesen ist die Radioaktivität außer bei den drei schwersten Elementen Uran, Thorium, Radium noch bei den Alkalimetallen Kalium und Rubidium[72].) — Gilt also der Satz von der Konstanz der Materie in diesem Sinne nicht mehr, so ist es doch kein Zweifel, daß ein allgemeines Erhaltungsgesetz, das Masse und Energie gleichwertig umfaßt, noch immer richtig ist. Es steht nichts im Wege, dem Objekt dieses Gesetzes, dessen endgültige Formulierung die Zukunft wohl noch zu bringen hat (s. S. 147) den Namen „Substanz" schlechthin zu geben. Man wird vielleicht sagen, es sei trotzdem immer noch nicht der Dualismus von Stoff und Kraft aus der Welt geschafft. Denn, um sich vorstellen zu können, daß etwas geschieht, müsse man sich doch zunächst etwas vorstellen, womit etwas geschieht. Die Elektronen seien doch auch eine Art von Substanz, das Feld sei dann die davon ausgehende Kraft, das Rätsel sei dasselbe wie früher geblieben. Hierauf ist zu erwidern, daß allerdings in der heute vorliegenden Gestalt der Theorie, wie schon oben zugestanden, noch ein unausgeglichener Dualismus liegt, daß dies aber keineswegs immer so bleiben muß. Wenn ich mir beispielsweise nur ein periodisch wechselndes elektrisches „Feld" vorstelle, so ist dies ein bestimmter Vorgang, der Kraft und Substanz zugleich ist. Gesetzt, es ließe sich alles auf solche wechselnden Felder zurückführen, so hätte dann die Unterscheidung zwischen Stoff

und Kraft keinen Sinn mehr, da die Kraft (die Feldstärke) selbst zum einzigen real existierenden „Ding" geworden wäre. (In der Relativtheorie handelt es sich allgemeiner um den „metrischen Fundamentaltensor".) Daß ein „Vorgang" bestimmter Art uns äußerlich als bestimmtes „Ding" erscheint, ist nun nachgerade in der Physik so oft eingesehen worden (Wärme, Licht, atomistische Eigenschaften), daß es auch dem stärksten Realisten nicht mehr allzu schwer werden sollte, den umgekehrten Weg (vom Ding zum Vorgang) bis zu Ende zu gehen. Es ist doch schon auf dem heutigen Standpunkt so, daß fast alles, was uns an der Materie interessiert, alles, was man früher als „ihr inhärente Eigenschaften" bezeichnete, auf bestimmte Vorgänge zurückführbar ist. D. h. anders gesagt, die Zahl der dem heutigen „Grundstoff" (den Elektronen bzw. Kernen) beizulegenden primären Eigenschaften hat sich bereits derartig vermindert und ist so klein gegenüber den auf Vorgänge an diesen Dingen zurückzuführenden geworden, daß man unschwer den Übergang zur Grenze (mathematisch gesprochen) vollzieht. Wenn das Ur-Ding schließlich nur noch die eine Eigenschaft besitzt, ein „Feld" um sich zu haben, bzw. selbst ein „Feld" zu sein, so besteht sein Sein eben schließlich nur noch in dieser seiner Wirkung.

Die ganze Anschauung hat etwas unbestreitbar Großartiges. An die Stelle einer kalten, starren, toten „Materie" setzt sie den restlosen Fluß, das allseitige, immerwährende Durcheinander der Billionen und aber Billionen sich durchkreuzender Wirkungen, die zusammen doch diesen Kosmos, nicht das Chaos ergeben.

Wenn so der alte Satz des Heraklit (πάντα ῥεῖ) eine ganz ungeahnt tiefe Bedeutung gewinnt, so kann man doch ebenso gut sagen, daß gerade die neuere Physik auch der umgekehrten Auffassung alles Geschehens als eines zeitlosen Seins (Eleaten, Plato) die Wege ebnet. Um dies zu illustrieren, wollen wir uns zunächst für einen Augenblick einen Physiker vorstellen, der vor sich auf dem Papier oder im Kopfe die Formeln $x = a \cdot \cos (kt)$, $y = a \sin (kt)$ stehen hat. Diese Formeln besagen für ihn das gleichmäßige Umherlaufen eines Punktes in der Entfernung a im Kreise um den Koordinatennullpunkt. Das ist also ein bestimmter räumlich-zeitlicher Vorgang. Natürlich gebraucht unser Physiker, um sich dies vorzustellen, eine gewisse kurze Zeit, da er als Mensch eben nur in der Form der Zeit (diskursiv) denken kann, es ist aber ja ohne weiteres klar, daß diese seine Denkzeit nichts zu tun hat mit der Zeit t, von der in den Formeln die Rede ist. Wir können uns jene „Denkzeit"

gleich Null gesetzt denken, ja wir können sie überhaupt gänzlich außer Betracht lassen, ohne daß an der Sache selbst etwas geändert wird. Unser Physiker kann dabei auch noch die Zeit t selbst, die zum Objekt seines Gedankens gehört, nach vorwärts oder rückwärts begrenzt oder unbegrenzt denken, und wenn er die ganze Sache statt in gewöhnlicher (Galileischer) in Einsteinscher Kinematik vorstellt, so kann er das „metrische Feld" sogar in sich selbst zurücklaufend denken, wenn ihm das so paßt — alles ohne daß er selbst dabei im geringsten an Zeitlich-Räumliches gebunden zu sein brauchte. Für ihn besitzen, wenn er will, jene Formeln bzw. der durch sie dargestellte Vorgang weiter nichts als eine zeitlos-raumlose „Geltung". Er kann aus ihnen durch Kombination mit ähnlichen etwas folgern, auch diese logische Verknüpfung hat mit der Zeit und dem Raume, die mit zu den verknüpften Objekten gehören, nichts zu tun, sie besitzt ebenso eine zeitlos-raumlose (und natürlich ebenso auch materielle) „Geltung". — Nun stellen wir uns vor, jener Physiker habe nicht einige, sondern unzählige solcher Vorgänge im Kopfe (wir sagen „gleichzeitig", wie wir auch von der „gleichzeitigen" Gültigkeit zweier Gleichungen sprechen obwohl auch dies zeitlos gemeint ist, die Sprache ist an diese Ausdrucksweise gebunden, wie sie auch durch die Wörter „folgen", „Vordersatz", „Nachsatz" usw. logisch-zeitlose Verhältnisse ausdrücken muß) und in diesem seinem Denken bestehe die „Realität" jener Vorgänge und ihrer Beziehungen, so haben wir ihn, wenn wir nun alles Anthropomorphistische nach Möglichkeit abstreifen, zum Weltgeiste (s. S. 62) erweitert, und es entsteht dann freilich sofort das Problem, wie denn nun einzelne Teilsysteme dieses universalen „Geltens" (nämlich die Menschen bzw. lebenden Wesen) zu einem inneren seelischen Verhältnis zu ihrer Umwelt, zu Empfindungen, Gefühlen und eigenem Wollen kommen, das ist das sozusagen von oben gesehene psychophysische Problem, das wir später von der anderen Seite her noch genügend erörtern werden. (Es ist meiner Meinung nach, wenn überhaupt, dann nur von hier aus lösbar.) Aber wir sehen von diesen Fragen hier zunächst ganz ab. Die ganze Überlegung sollte hier nur zeigen, daß sehr wohl der zeitliche Fluß des Geschehens auch als zeitlose Geltung eines schlechtweg Gesetzten gefaßt werden kann. Hat das nun die Philosophie auch schon längst gewußt — schon die alten Scholastiker lehrten, daß Gott die Welt „uno aspectu" sähe — so hat doch erst die Relativitätstheorie diesem Gedanken zu einer ich möchte fast sagen unmittelbar praktischen Bedeutung verholfen, weil in ihr, wie wir unten noch genauer sehen werden,

tatsächlich mit einer einfach daseienden „Welt“ von vier Dimensionen (x, y, z, t) gearbeitet wird. Damit eröffnet sich die Aussicht, daß jener uralte Dualismus der Begriffe „Sein“ und „Geschehen“ (Plato, Heraklit) wirklich endgültig überwunden wird, weil sie beide nunmehr vollständig zu Ende gedacht sind. Indem wir konsequent einerseits alles „Sein“ in Vorgänge auflösen (Atomistik — Elektronenlehre), andererseits aber alles Geschehen als zeitlose Setzung einer vierdimensionalen Mannigfaltigkeit auffassen (Relativitätstheorie), erkennen wir, daß es doch nur ein und dieselbe Welt ist, die wir einmal sub specie temporis, das andere Mal sub specie aeternitatis betrachten. Jetzt steht also nicht mehr neben der seienden Materie der Fluß des Geschehens als ein gänzlich anderes, sondern beides ist ein und dasselbe.

Auf die weiter hier anschließenden Probleme kommen wir S. 178 ff. zurück. Hier gilt es nun nur noch, einige Bedenken gegen die vorliegende Auffassung vom Ziel aller physikalischen Erkenntnis zu beseitigen. Man wird zunächst vielleicht einwenden, daß zwar das Bisherige sich leidlich als konvergent erwiesen habe und wohl die Hoffnung auf eine Vereinigung auch der heute noch ferner stehenden Gebiete rechtfertigen möge, daß aber doch niemand wissen könne, ob nicht plötzlich, vielleicht heute, vielleicht in hundert Jahren, wieder Neuentdeckungen, wie jetzt die der Radioaktivität kommen würden, nun aber solche, die mit allem Bisherigen gar nicht unter einen Hut zu bringen wären. Die Erfahrung sei doch eine unerschöpfliche Quelle und habe nur allzu oft die Menschen, die sie schon ganz zu übersehen glaubten, mit der Nase darauf gestoßen, daß es erst ein ganz kleiner Teil war, den sie wirklich übersahen.

Diesem Einwand läßt sich vielleicht durch einen Vergleich am besten begegnen, der zwar wie alle Vergleiche nichts schlüssig beweisen kann, aber am deutlichsten erkennen läßt, worauf die Sache hinausläuft. Als vor 300—400 Jahren Kolumbus, Magellan, Cook u. a. ihre Entdeckungsfahrten unternommen und der Menschheit neue Erdteile erschlossen hatten, da mag denn wohl mancher gedacht haben, wie das nun noch weiter gehen würde, und wieviel neue Erdteilentdeckungen seine Kinder und Kindeskinder noch erleben würden. Er vergaß dabei, daß es mit der Entdeckung neuer Erdteile sicher nicht in infinitum weitergehen kann, sondern, daß einmal der letzte kommen muß, so gewiß die Erde eine endliche Kugeloberfläche und nicht eine nach allen Seiten ins Unendliche laufende Ebene ist. Ja mehr noch: Je weiter wir schon gekommen sind, um so sicherer vermögen wir

im voraus auch anzugeben, wo noch etwas zu entdecken ist, und was da vermutlich zu finden sein wird; um so öfter werden wir auch erleben, daß diese Vermutungen zutreffend waren. Mehr und mehr tritt so an die Stelle des bloßen Umhertappens und in den Tag Hineinfahrens, wie es Kolumbus und andere taten, die planmäßige Expedition ins unbekannte Gebiet, die sich von vornherein ganz bestimmte Aufgaben stellt, von denen sie weiß, daß sie sie lösen kann.

Ist dies nun nicht ein Gleichnis der Physik? Wir haben ja den Beweis der Geschlossenheit, die Erdumseglung der Physik, in Händen; es ist das Energiegesetz oder, wenn sich dieses als zu enge Fassung erweisen sollte, ein erweitertes Erhaltungsgesetz. Und wir haben dazu einen anderen noch bindenderen Beweis für die Einheit des Gebiets. Wenn es nämlich als richtig zugestanden wird, daß das bisher Bekannte auf eine Einheit hinausläuft, so kann es für uns Menschen wenigstens nichts mehr geben, das nicht auch mit diesem uns bekannten Weltbestande in Wechselbeziehung steht und deshalb in jene Einheit schon einbezogen werden muß. Denn unsere Sinnesorgane bestehen ja selbst aus eben der Materie, die das Objekt unserer bisherigen Physik und Chemie bildet. Was für uns überhaupt existieren soll, muß — sofern es überhaupt den Namen Physikalisches verdient — auch mit dieser Materie direkt oder indirekt in Wechselwirkung treten können, sonst käme es eben niemals zu unserer Kenntnis. Da wir nun freilich heute jene Einheit noch nicht durchschauen, so müssen wir allerdings noch auf Neuentdeckungen gefaßt sein. Immerhin gibt der Umstand zu denken, daß die letzte Entdeckung eines neuen „Erdteils" der Physik, der Radioaktivität, die Probleme in der oben erörterten Weise trotz alles Neuen zu vereinigen geholfen hat. Doch sei dem, wie ihm wolle, wir müssen das der Zukunft überlassen. Sie wird einst ebenso sicher auf Grund des schon Bekannten die Vermutung wagen dürfen, wo und wie noch etwas zu entdecken ist, wie das heute die Geographie an ihrem Objekte kann.

Ein zweiter Einwand ist leichter zu erledigen. Man wird vielleicht fürchten, daß der Reiz der Forschung, der eigentliche Antrieb zu allem Nachgraben und Grübeln fortfalle, wenn ein geschlossenes System der Erklärung einmal vorliege, und schon jetzt könne diese Aussicht vielleicht lähmend wirken. Nichts ist weniger zu befürchten als das. Steht etwa die Mathematik deshalb still, weil sie im großen und ganzen deduktiv vorgeht? Oder hat die Erforschung elektrischer oder astronomischer Erscheinungen einen Nachteil davon gehabt, daß man ein einfaches Grundgesetz für sie

alle fand? Im geraden Gegenteil, die Forschung ist dadurch gerade erst angeregt worden. Und das ist ganz erklärlich. Denn, wenn auch das Gesetz selbst einheitlich und einfach ist, so ist die Zahl der darunter befaßten Sonderfälle und Folgerungen doch unendlich und dem Menschengeiste in der Aufsuchung immer neuer Kombinationen und ihrem Vergleich mit der Erfahrung ein unendliches Feld der Betätigung gegeben. Wer weiß, wie viele bekannte und noch unbekannte Erscheinungen wir noch durch die Elektronenhypothese werden erklären können? Schon in diesem doch wahrscheinlich selbst nur einen Ausschnitt der gesamten Wirklichkeit, selbst also einen Spezialfall vorstellenden Gebiet liegt ja eine unendliche Zahl einzelner Erscheinungen beschlossen. Erst recht würde das mit einem die gesamte Wirklichkeit umfassenden Erklärungssystem der Fall sein. Da würde ein Forschen und Finden, ein Kombinieren und Wiedererkennen in der Erfahrung anheben, wovon uns die Triumphe der Kristalloptik und der modernen magneto- und elektrooptischen Untersuchungen, die Teerfarbenindustrie und die Funkentelegraphie erst ein schwaches Bild geben. Und auch die Umkehrung davon, die „zufällige" Entdeckung neuer Erscheinungen ist damit nicht im geringsten ausgeschlossen. Erleben wir doch solche auch jetzt alltäglich auf Gebieten, die ihre vollkommen durchgeführte Theorie bereits haben. Sie fügen sich dann — oft kostet auch das noch eine erkleckliche geistige Arbeit — in das vorhandene Erklärungssystem ein. Der Grund für die Möglichkeit, stets solche Entdeckerfreuden genießen zu können und vor solche neue Erklärungsaufgaben gestellt zu werden, liegt einfach in der endlichen Beschränktheit des Menschengeistes, der unmöglich alle unendlich vielen Kombinationen und Einzelfälle übersehen und auffinden kann.

Schwerer wiegt ein dritter Einwand, dem der bekannte russische Physiker Chwolson Ausdruck in der Zweifelsfrage gegeben hat: „Dürfen wir die physikalischen Gesetze auf das Universum anwenden?"[74] Die analoge Frage wirft der französische Mathematiker Poincaré in den nach seinem Tode veröffentlichten „Letzten Gedanken" hinsichtlich der zeitlichen Wandelbarkeit der Naturgesetze auf. Wir können uns hier mit der ausführlichen Erörterung des einen der beiden Gedankengänge begnügen, da der andere sich von selbst mit erledigt. Der leitende Gedanke des Chwolsonschen Aufsatzes ist eine scharfe Betonung der unvorstellbaren Größe des Raumes. Chwolson nennt den größten unseren besten Instrumenten erreichbaren Raum den astronomischen Raum A. Nun konstruiert er einen Raum Z, der $N^{10000000000}$mal

größer sein soll, als dieser Raum A, unter N die schon ungeheuerliche Zahl der Moleküle verstanden, die der Raum A enthält, und dann überzeugt er uns leicht, daß selbst dieser fabelhafte Raum Z noch ein Stäubchen gegen die Unendlichkeit ist.

Um uns weiter die Unmöglichkeit eines Schlusses von den Eigenschaften der Gegenstände des Raumes A auch nur auf die des Raumes Z, geschweige denn auf die Unendlichkeit darzutun, konstruiert Chwolson andererseits eine Welt im kleinen. Er denkt sich ein Geschlecht von Wesen mit Menschenverstand, lebend auf einer Welt, die wir ein Kupferatom (a) nennen. Diese Wesen erforschen die Beschaffenheit ihrer Welt, die ja, wie auch wir vermuten, ein verwickeltes System von Elektronen usw. ist, außerdem entdecken sie mit ihren besten Instrumenten in sehr weiten Fernen andere Welten. Auf Grund ihrer Beobachtungen schließen sie, daß diese — die benachbarten Kupferatome in unserer Sprache — eine ihrer Welt ähnliche Beschaffenheit haben. Die Gesamtheit aller ihnen erreichbaren Welten wollen wir ihren astronomischen Raum A nennen. In unserer Sprache ist das ein Kupferstäubchen, bestehend aus einigen Billionen Atomen. Wenn sie nun den Schluß machen, den wir machen, wenn wir unsere physikalischen Gesetze auf das Universum übertragen, so sagen sie etwas, was in unsere Sprache übersetzt heißt: „Das Universum besteht aus Kupfer." — Hiermit will natürlich Chwolson diesen Schluß dem Fluch der Lächerlichkeit preisgeben. Sehen wir einmal ein wenig genauer zu, wie es damit steht. Also die Weisen jener Atomwelt haben, nach Chwolson, die Erkenntnis ihrer Welt bis zu der Einsicht in ihren Aufbau aus Elektronen gefördert; dann müssen sie auch das Gesetz, das die Bewegung dieser ihrer Weltkörper regelt, kennen; es ist etwa das, was wir die Lorentzschen Gleichungen nennen, eventl. mit quantentheoretischen Einschränkungen. Dasselbe Gesetz erkennen sie auch in den Vorgängen ihrer Nachbarwelten und vielleicht auch in den Beziehungen ihrer eigenen Welt zu diesen wieder. Setzen wir nun voraus, daß sie wirklich so hervorragende Physiker sind, wie Chwolson es — selbst ist, so werden sie jenen törichten Schluß, der in unsere Sprache übersetzt heißt: „Das Universum ist von Kupfer" gar nicht machen. Sie werden vielmehr sich zunächst die Frage vorlegen, ob diejenige Art von Weltsystemen (alias Elektronensystemen), die sie bei sich selbst und in ihrer Nachbarschaft vorfinden, die einzige ist, die mit dem Bestehen jenes Grundgesetzes vereinbar ist. Diese Frage werden sie verneinen müssen; sie werden daraufhin, zwar rein hypothetisch, aber doch ohne W i d e r -

spruch gegen ihre Erfahrungen, untersuchen, welche anderen Arten von Weltsystemen noch dabei möglich sind, und ein ganz besonderes Genie, ein atomistischer Mendelejeff wird — das periodische System der Elemente, nein: der Weltsystemarten auf diesem Wege entdecken! Auf Grund der Überlegung, daß das Mögliche doch auch wohl irgendwo im Universum, das für diese Atomweisen ebenso groß ist wie für uns, verwirklicht sein könnte, werden sie sich also hüten, zu sagen: das Universum besteht aus derjenigen Art von Weltsystemen, die die Menschen Kupferatome nennen, sondern sie werden, wenn auch rein hypothetisch und außerhalb des Bereichs ihrer Erfahrung, doch imstande sein, bei dem nötigen Genie sich unsere ganze irdische physikalisch-chemische Welt von den 92 „Elementen" aufzubauen. Ganz das Entsprechende würde auch gelten, wenn nicht die Elektronen, sondern irgend etwas anderes den Grundbestand der Welt ausmacht. Und das gilt nun nicht nur für jene Atomweisen, sondern auch für uns, und zwar, wie Poincaré in der obengenannten Schrift ausführt, nun entsprechend auch hinsichtlich der Zeit. Wir können uns zwar wohl denken, daß einmal Billionen von Jahren später vieles nicht mehr gilt, was uns heute als „unwandelbares Naturgesetz" erscheint, aber wir können uns das nur denken unter Zugrundelegung eines allgemeinen, umfassenden Gesetzes, das diese Veränderung selbst wieder regelt. Gesetzt also auch, wir hätten das oben besprochene Grundgesetz der Welt entdeckt (ich will es, da es durch die noch zu vollziehende Synthese zwischen der Relativitäts-, Quanten- und Elektronentheorie gegeben sein muß, als Grundsatz der Lorentz-Einstein-Planckschen Physik (L. E. P.) bezeichnen), so würde dies immer noch die Möglichkeit weiterer Fragestellungen nicht ausschließen. Denn einmal bleibt dann immer noch die Frage übrig, woher denn nun dieses allgemeine Grundgesetz der Wirklichkeit überhaupt kommt, warum es so und nicht anders heißt und ob es nicht auch anders sein könnte. Kommen beispielsweise in den Grundgleichungen bestimmte Konstante vor (wie die Konstante c in den Maxwell-Lorentzschen), so erhebt sich sogleich die Frage, wie die Sache aussehen würde, wenn diese andere Werte hätten, bzw. wodurch diese Werte ihrerseits bestimmt sind. Diese Frage ist der früher erörterten nach der Möglichkeit nichteuklidischer Geometrien offenbar ganz analog. Ja, man kann heute sagen, daß die Physik zunächst mit der speziellen dann mit der allgemeinen Relativitätstheorie diesen Schritt schon zweimal gemacht hat. Sie kann also auch darüber hinaus vielleicht noch einmal zu einer „Nicht-L.-E.-P. Physik" fortschreiten, und es eröffnet sich so die Aus-

sicht auf eine der „Metageometrie" entsprechende wissenschaftliche „Meta-Physik" als Stoff zu ungezählten Doktordissertationen und Habilitationsvorträgen der Zukunft, sowie vielleicht auch einmal wieder als Schritt zu einer neuen Synthese*).

Zum anderen aber würde, selbst wenn das Gesetz der Welt als gegeben angenommen wird, die Frage bestehen bleiben, ob denn nun auch der tatsächlich vorhandene Bestand derselben als Folge dieses Gesetzes begriffen werden kann, oder ob hier ein einfach Gesetztes vorliegt. In der Gültigkeit der euklidischen Planimetrie liegt noch nicht, daß hier auf diesem Blatt Papier die Figur zum Satz des Pythagoras steht oder dort jenes Blatt in Quadratmillimeter eingeteilt ist. In diesem Zusammenhang findet dann naturgemäß auch die Frage ihre Stelle, wodurch die Zeit eigentlich objektiv vor den drei Raumkoordinaten ausgezeichnet ist, derart, daß auch die weitaus meisten „Kausalverhältnisse" für uns zugleich zeitliche Folgen sind (s. o. S. 47) und von hier aus würde dann vielleicht auch neues Licht auf das vielumstrittene Problem der menschlichen bzw. göttlichen „Willensfreiheit" fallen. Wir kommen im nächsten Kapitel auf diese Fragen zurück. Hier sollte zunächst nur auf diese Doppelnatur des „Problems der Kontingenz der Welt" hingewiesen werden.

Daß auch anderweitig die Forschung vorläufig und für alle Zeiten hinreichend mit Stoff versorgt ist, habe ich vorhin schon dargelegt, wie mir denn überhaupt nichts ferner liegt, als jener gedankenlosen satten Genügsamkeit das Wort zu reden, die sich immer nur freut: Wie wir's doch so herrlich weit gebracht, und darüber die vielen Probleme und Aufgaben nicht sieht, die noch hinter dem stehen, was wir bereits wissen.

Aber andererseits war es freilich meine Absicht, in diesem Kapitel zu

*) In der ersten Auflage dieses Buches hatte ich, lediglich von den Maxwell-Lorentzschen Gleichungen ausgehend und diese hypothetisch einmal als Grundgesetz annehmend, die Möglichkeit einer „Nicht-Lorentzschen Physik" erörtert und auf die Bedeutung der (speziellen) Relativitätstheorie für diese Frage des „Auchandersseinkönnens" hingewiesen. In ungeahnt kurzer Zeit ist dieser Gedanke durch die allgemeine Relativitätstheorie in die Wirklichkeit umgesetzt worden. Die dort ausgesprochene Meinung allerdings, daß das dann bloße Gedankenkonstruktion (wie vordem die nichteuklidische Geometrie) bleibe, praktisch aber wir „mit unseren Sinnen und Instrumenten nun einmal der Lorentzschen Physik ebenso wie dem Euklidischen Raum verfallen seien (S. 113)" kann nicht aufrecht erhalten werden, da wir, wenn Einsteins Theorie Recht behält, tatsächlich in einem allgemeinen Einsteinschen „metrischen Felde", nicht im Euklidischen Raume, der Newtonschen Zeit und der Galileischen Physik leben.

zeigen, daß noch viel weiter als solche unberechtigte Überschätzung unseres Wissens das Gegenteil derselben, die systematische Unterschätzung und Kritikasterei von der Wahrheit entfernt ist, auch wenn sich diese hin und wieder mit anscheinendem Recht auf wissenschaftliche Kritik stützen zu können meint. Diese Kritik selbst, auch wenn sie durch die Autorität großer Namen gedeckt ist, ist doch selbst cum grano salis zu genießen. Das an einem kurzen Aufriß des Fortschritts der Physik an einer Reihe besonders einleuchtender Beispiele zu zeigen, war der wesentliche Zweck des Bisherigen.

Soll das Ergebnis dieser Untersuchungen einen Namen haben, so möchte ich es einen „relativen Realismus" nennen, und zwar gilt dies in einem dreifachen Sinne. Wir haben es erstens abgelehnt, zwischen Tatsächlichem und Hypothetischem einen erkenntnistheoretischen Wesensunterschied zu machen, vielmehr zwischen beiden lediglich den Gradunterschied der Gewißheit und den Umfangsunterschied des Besonderen und Allgemeinen anerkannt. Wir ermöglichen es dadurch der Physik, zunächst unbekümmert um alle erkenntnistheoretischen Fragen an ihre Moleküle, Lichtwellen, Felder usw. mit demselben naiven Realismus heranzugehen, wie an Steine oder Gewitter oder Fixsterne. Jene hypothetischen Objekte haben keine andere Art von Realität, als diese, sie sind also real „relativ" zu ihnen. Was für alle zusammen Realität heißt, ist eine weitere Frage, die wir der Erkenntnistheorie überlassen. — Wir haben zweitens als einzigen Maßstab der Gewißheit unserer physikalischen Urteile (und zwar nach dem Obigen aller Urteile) die Konvergenz der Ergebnisse anerkannt und fassen die Wahrheit als Asymptote der Forschung auf. Unsere Wirklichkeitserkenntnis ist also keine absolute, aber sie ist doch eine Wirklichkeitserkenntnis, kein ewig über der Wirklichkeit schwebendes Begriffsgerüst, sondern ein ihr immer adäquater werdendes Bild. — Wir haben damit drittens auch den Relationen zwischen den Dingen, nicht nur diesen selbst, einen gewissen Realitätscharakter zugesprochen (S. 68) und damit allerdings die idealistische, sowie die positivistische Erkenntnistheorie abgelehnt, von denen die erste nur das „Ding an sich" als unbestimmten Grenzbegriff, die letzten die Empfindungen (Elemente) als letztes Gegebenes stehen läßt, allen Begriffen, Naturgesetzen usw. aber nur idealen Charakter zuerkennt[75]. Wir werden in den folgenden Kapiteln auf diese drei Punkte noch öfter zurückzukommen Gelegenheit haben.

II. Weltall und Erde.

Im vorigen Kapitel wurde dargelegt, welche Auskunft uns die moderne Wissenschaft von dem Bestande der Welt im allgemeinen zu erteilen vermag, oder wie die mittelalterlichen Philosophen das ausdrückten, was die essentia der physikochemischen Welt ist. Hiervon wohl zu unterscheiden ist, wie schon S. 159 bemerkt wurde, die Frage nach dem, was nun im Weltprozeß hier und dort, jetzt und damals und einst im einzelnen „verwirklicht“ ist, was also in diesem engeren Sinne wirklich existiert. Wir wollen das dem Gebrauch jener Philosophen folgend mit existentia bezeichnen und darunter also verstehen die tatsächlich vorliegende Verteilung der Weltensubstanz innerhalb des Weltenraumes und der Weltenzeit. Um ein paar Beispiele zu geben: Die Physik lehrt uns das Gesetz der Planetenbewegung kennen, aber sie lehrt uns selbstredend nicht, daß es eine Sonne von der und der Masse und acht größere und zahllose kleinere Planeten hier in dieser unserer Gegend des Weltenraumes gibt. So interessiert auch die Physik die Tatsache, daß beispielsweise das Sonnenlicht die Frauenhoferschen Linien im Spektrum zeigt, nicht wegen der Schlüsse, die wir daraufhin über die Natur unseres Zentralkörpers im besonderen machen können, sondern sozusagen nur als bequemes und leicht zugängliches Beispiel für die Gesetze der Spektralanalyse überhaupt. Mit einem Wort: Physik und Chemie sind g e n e r e l l e Wissenschaften, es kommt ihnen nur auf die Gesetze des Geschehens im allgemeinen an, auf das, was geschehen k a n n und natürlich deshalb auch meist irgendwo und irgendwann wirklich geschieht. Ihnen gegenüber stehen die i n d i v i d u e l l e n Wissenschaften[76]: Astronomie, Geologie, Geographie, Astrophysik usw., deren Objekt nicht die Gesetze des Geschehens um ihrer selbst willen bilden, sondern für die umgekehrt diese Gesetze nur dazu da sind, den vorliegenden Weltbestand, so wie er wirklich ist, zu begreifen. Ein gegebenes physikalisch-chemisches System zeigt einen durch die physikalischen Gesetze bzw. das ihnen allen

zugrunde liegende „Grundgesetz“ eindeutig bestimmten Ablauf. Für die Physik ist dabei der Anfangszustand nur eine gedankliche Forderung, er kann willkürlich konstruiert werden, es kommt für sie weder auf ihn, noch auf jeden einzelnen späteren Zwischenzustand, noch auf den Endzustand als solchen an, sondern auf das Gesetz, das diese ganze Reihe verknüpft, aber auch ebenso unzählige andere ähnliche Zustandsreihen umfaßt. Für die „Existentialwissenschaften“ hingegen ist gerade die Ermittlung der besonderen Zustandsreihe die Hauptsache, das Gesetz nur das Mittel zum Zweck, um aus einem gegebenen Zustand in einem bestimmten Augenblick die vorherigen und nachfolgenden zu ermitteln, oder andere anderswo gleichzeitig vorhandene Zustände zu erschließen.

Ausdrücklich machen wir hierbei überall den Zusatz, daß es sich um den physikalisch-chemischen Weltbestand und Weltprozeß handelt, d. h. wir schließen einstweilen die Frage, ob es etwa noch andere als physikalisch-chemische Wirklichkeit gibt, von unserer Erörterung aus. Soweit wir die Welt nun unter diesem Gesichtspunkte betrachten, gilt sicherlich für jeden beliebigen und beliebig großen Teil der Welt, daß alles, was in ihm sich abspielt, eindeutig durch den Anfangszustand und das physikalische Gesetz bestimmt ist. Die oben erörterte Laplacesche Fiktion eines Weltgeistes (s. S. 62) trifft den physiko-chemischen Weltvorgang auch dann im Prinzip richtig, wenn wir heute einsehen, daß ihre speziell mechanische Einkleidung zu eng ist. Es ist für sie gleichgültig, ob wir uns dabei mit Laplace die Welt als System materieller Punkte, die durch Fernkräfte ähnlich der Gravitation verbunden sind, denken, oder ob wir die Materie mit Maxwell, Lorentz und Einstein in eine Summe elektrischer Kraftwirkungen und Felder auflösen, oder ob wir endlich auf eine nähere Bestimmung der Natur dieses Grundbestandes der Welt überhaupt vorläufig verzichten. In jedem Falle müssen, das folgt aus der Eindeutigkeit aller besonderen physikalischen Gesetze, auch die „Grundgleichungen“ so beschaffen sein, daß aus ihnen bei gegebenem Anfangszustand das übrige eindeutig folgt. Mit anderen Worten, der absolute Determinismus des physikalischen Geschehens ist von unserer speziellen Vorstellung über den Grundbestand der Welt unabhängig".

Wieviel und was können wir nun im besonderen von diesem Geschehen erkennen? Drei Hindernisse stehen praktisch dieser Erkenntnis entgegen. Wir kennen zum ersten bisher nicht das Grundgesetz aller physikalisch-

chemischen Vorgänge, sondern nur einzelne Gesetze, die als seine speziellen Folgerungen für bestimmte Fälle gültig, aber eben deshalb stets nur in beschränktem Umfange gültig anzusehen sind. Jedes Gesetz, selbst das Energiegesetz, ist, so angesehen, eine Annäherung, die unter bestimmten Voraussetzungen gilt oder gelten würde, von denen wir nicht immer sagen können, bis zu welchem Grade der Genauigkeit sie erfüllt sind. Dies ist nur ein anderer Ausdruck für die schon oben (S. 66) erörterte Wahrheit, daß es streng genommen keinen einzigen „rein“ mechanischen, elektrischen, ... Vorgang gibt. Da wir nun also nicht wissen können, ob uns nicht vorläufig ganze große Gebiete der physikalischen Erscheinungen noch ganz unbekannt geblieben sind, so sind wir einerseits vielfach auf Ergänzungen durch bloße Vermutung angewiesen, andererseits in praxi niemals absolut sicher, ob nicht eine ganze schöne Berechnung illusorisch wird, weil ein bei dem betreffenden Prozeß mitwirkender Faktor noch völlig ignoriert wurde mangels unserer Kenntnis aller physikalischen Gesetze.

Wir kennen zweitens stets nur einen mehr oder minder kleinen Teil der wirklichen Welt. Unsere Sinne und Instrumente erreichen bald eine unübersteigliche Grenze, und das gilt nicht nur hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung, sondern auch hinsichtlich der Genauigkeit im einzelnen. Während uns hier auf Erden noch ultramikroskopische Körperchen von 5 $\mu\mu$ Durchmesser einzeln erscheinen können, entgehen uns auf dem Monde oder Mars oder der Sonne schon Einzelheiten von so und so vielen Kilometern Ausdehnung. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, vielfach nur im Groben rechnen zu können und die feineren Einflüsse vernachlässigen zu müssen. Und das tritt auch aus einem anderen Grunde öfter noch da ein, wo theoretisch selbst eine Kenntnis aller wünschenswerten Einzelheiten denkbar wäre, praktisch aber die Sache daran scheitert, daß wir nicht unendlich viele Beobachtungen machen oder auch nur beliebig viele — bezahlen können.

Endlich drittens kommt als eine weitere Schwierigkeit in vielen Fällen hinzu, daß wir auch bei an sich genügendem, ja sogar mehr als genügendem Beobachtungsmaterial oft nicht in der Lage sind, die Theorie der betreffenden Vorgänge exakt durch führen zu können, weil unser mathematisches Können dabei versagt.

Mit anderen Worten: Unsere Erkenntnis ist beschränkt: 1. in bezug auf die Mannigfaltigkeit der physikalischen Gesetze, 2. in bezug auf die Mannigfaltigkeit des vorliegenden Zustandes, 3. in bezug auf die theore-

tischen Mittel zur Bewältigung der Probleme. Für alle drei Fälle lassen sich leicht Beispiele in großer Zahl finden.

Für den ersten liefert ein gutes Beispiel der Versuch, das Alter der Erde auf Grund ihrer Abkühlung von der als Anfangstemperatur angenommenen Sonnentemperatur auf ihre jetzige Oberflächentemperatur zu berechnen. Man hat diese Rechnungen mit mehr oder weniger Berücksichtigung der verschiedenen Einzelheiten durchgeführt. Alles aber ist völlig illusorisch geworden in dem Augenblick, wo man erkennen mußte, daß man einen wahrscheinlich das Resultat in entscheidender Weise beeinflussenden Faktor ganz ignoriert hatte, nämlich die Radioaktivität. Alle früheren Rechnungen ruhten auf der Voraussetzung, daß die Erde in sich selbst keine weitere Energiequelle habe, welche ihren Wärmeverlust nach außen teilweise decken könnte, abgesehen von den bereits in die Rechnung eingesetzten Posten (chemische Vorgänge u. a.). Nun kam die Entdeckung der Radioaktivität und der von Elster und Geitel geführte Nachweis, daß die Erde mindestens in ihrer Gesteinskruste einen ganz ungeheuren Vorrat von Radium u. a. radioaktiven Körpern enthält. Damit ist eine neue Energiequelle gegeben, die (vgl. S. 144) so enorme Beträge zu liefern vermag, daß die anderen irdischen Energiequellen dagegen verhältnismäßig fast verschwinden.

Für den zweiten Mangel unserer Erkenntnismittel bietet die Meteorologie ein gutes Beispiel. Hier liegen die sämtlichen Faktoren zwar auch nicht in unserer Kenntnis, wissen wir doch z. B. bis heute ziemlich wenig von dem Einflusse der elektrischen Vorgänge auf der Sonne auf das Wetter, aber selbst wenn wir einmal annehmen, wir kennten sämtliche dafür in Betracht kommenden Faktoren der Art nach vollständig, so würde es doch unmöglich sein, das Wetter in alle Einzelheiten hinein genau zu prophezeien, einfach deshalb, weil wir gar nicht in der Lage sind, so viele Beobachtungsposten, wie dazu nötig wären, zu errichten.

Was endlich den dritten Punkt, die Schwierigkeiten für die theoretische Verarbeitung anlangt, so genügt es ja, z. B. an das „Dreikörperproblem" zu erinnern, d. h. an die Aufgabe, die Bewegungen dreier sich nach dem Gravitationsgesetz anziehender Himmelskörper zu berechnen. Dieses Problem ist in strenger Form unlösbar (die betreffenden Differentialgleichungen können nicht integriert werden), die Astronomie wird freilich auch ohne das fertig, da es Näherungsmethoden gibt, mit deren Hilfe das Problem für jeden einzeln vorliegenden Fall mit beliebig großer Genauigkeit lösbar ist

(Störungstheorie, Mondtheorie u. a. m.). Ähnlich findet sich ein Ausweg auch in zahlreichen anderen derartigen Fällen, wo dann die „Approximationsmathematik" an die Stelle der „Präzisionsmathematik" treten muß. Aber es gibt doch auch zahlreiche Probleme, die bis heute auch auf diesem Wege keine ganz befriedigende Lösung gefunden haben, weil die mathematischen Schwierigkeiten zu groß sind. Dahin gehört z. B. die Theorie der Flüssigkeitsbewegungen unter Berücksichtigung der Reibung u. a. m. Man kann dann immer nur vereinzelte Fälle unter besonders vereinfachenden Annahmen behandeln, die irgendeinem wirklich vorliegenden Falle einigermaßen entsprechen.

Somit hätten also diejenigen Recht, die von nichts lieber als den unergründlichen Geheimnissen der Natur, von den Grenzen des Erkennens und vom Ignoramus, Ignorabimus sprechen? Ich denke, doch nicht so ohne weiteres. Ist doch vielmehr die ganze Geschichte der Wissenschaft ein einziges Zeugnis dafür, daß nichts so sehr geeignet ist, dem Mangel in den genannten drei Beziehungen abzuhelfen, als die Einsicht in die Unzulänglichkeit unserer Erkenntnis gerade diesem oder jenem speziellen Problem des Weltbestandes gegenüber. Alle Forschung erwächst mit und aus den Aufgaben, die ihr gestellt werden. Wenn beispielsweise die Mathematik dem Astronomen die Integration des Dreikörperproblems nicht liefern konnte, nun so wurde eben so lange gesucht, bis ein anderer praktisch das Verlangte leistender Weg gefunden war. Allgemein aber kann man sagen, daß die allgemeinen Wissenschaften (Physik, Chemie, auch die Mathematik selbst) mindestens ebensoviel von den individuellen Wissenschaften (Astronomie usw.) profitiert haben, wie umgekehrt. Überall zeigt uns die Geschichte, daß die Einsicht in die allgemeinen Gesetze der Physik und Chemie in unzähligen Fällen erwachsen ist aus und an besonderen Aufgaben, die in der Astronomie, der Geo- und Astrophysik usw. vorlagen. Das klassische Beispiel ist die Galilei-Newtonsche Mechanik in ihrem Verhältnis zur Astronomie. So darf man denn nicht daran zweifeln, daß die Zukunft uns noch ungezählte ebensolche wissenschaftliche Großtaten in diesem Gebiete bringen kann und wird, wie die Newtonsche Himmelsmechanik, die Anwendungen der Spektralanalyse auf die Himmelskörper usw.

Die Aufgabe einer unbefangenen Betrachtung bleibt deshalb immer wieder die richtige Mitte zwischen der Scylla der Nichts-als-Kritik und der Charybdis des wissenschaftlichen Dogmatismus zu finden.

Fragen wir nach diesen notwendigen Präliminarien, was denn die For-

schung, sei es von dem Weltprozeß überhaupt, sei es von einzelnen seiner Teile herausgebracht hat, so haben wir in beiden Beziehungen Antworten, die mehr als Nichts, viel mehr als Nichts sogar bedeuten, aber doch lange nicht ausreichen, um unseren Wissensdrang zu befriedigen. Über den Weltprozeß im allgemeinen können wir offenbar nur auf Grund von Gesetzen Aussagen machen, die selber mit einiger Wahrscheinlichkeit als allgemeingültig zu betrachten sind. Solcher Gesetze kennen wir bisher nur d r e i, nämlich den Energiesatz, den Massensatz und den Entropiesatz. Es war im vorigen Kapitel wiederholt die Rede davon, daß Massensatz und Energiesatz wahrscheinlich nur zwei zusammengehörige Seiten einer und derselben Wahrheit sind, die man mit H ä c k e l passend als S u b s t a n z g e s e t z bezeichnen kann, auch wenn ihr Inhalt uns vorläufig nicht mit völliger Sicherheit definierbar ist. Im letzten Grunde handelt es sich bei einem solchen etwa in Zukunft aufgefundenen allgemeineren Erhaltungsgesetze nur um die genaue physikalische Formulierung der schon von Descartes u. a. Philosophen geahnten Einsicht, daß kein Teil oder Eigenschaft der Welt ohne Kompensation aus nichts entsteht oder in Nichts vergeht.

Man hat nun von hier aus einen sehr viel weitergehenden Schluß ziehen zu können gemeint, der freilich angeblich nur eine Umschreibung der gleichen Wahrheit, des Erhaltungsgesetzes, sein sollte. Man hat nämlich gesagt: Aus dem Erhaltungsgesetz folge, daß die Welt weder nach rückwärts noch nach vorwärts einen Endpunkt in der Zeit haben könne, sie sei „von Ewigkeit zu Ewigkeit“. Man hat dann weiter gesagt, daß sonach das Erhaltungs- (Substanz-) Gesetz als ein physikalischer Widerspruch gegen die Annahme einer „Schöpfung aus Nichts“ angesehen werden müsse. Es gehört keine allzu tiefsinnige Logik dazu, um das Unzulässige solcher Schlußweise zu durchschauen. Auf der einen Seite kann man nämlich ohne weiteres einsehen, daß der Anhänger des in diesem Sinne aufgefaßten „Schöpfungsglaubens“ durch nichts verhindert, vielmehr aber durch alles genötigt wird, zu sagen, Gott habe einmal die Welt geschaffen und lasse sie nun in ihrem materiellen Bestande ungeändert bestehen. Das ist ja eben die Erfahrung, die der Energie- und Massensatz bzw. das „Substanzgesetz“ ausdrücken. Auf der anderen Seite ist es aber auch so schon klar, daß das Energie- und Massengesetz auf den Weltprozeß im ganzen angewandt nur eine rein negative Aussage zuläßt, nämlich die, daß dieses Gesetz keinen Anfang und kein Ende der Welt bestimmbar erscheinen läßt. S e i n e t w e g e n kann die Welt immer so weiter gehen und immer so gegangen sein. Damit

ist aber noch keineswegs gesagt, daß nicht von anderswoher Aussagen darüber gemacht werden könnten. Das gilt ja schon im kleinen. Nehmen wir der Einfachheit halber einmal die strenge Gültigkeit des Erhaltungsgesetzes innerhalb des rein mechanischen Gebietes an, denken uns also etwa ein Pendel reibungslos und widerstandslos schwingend, so ist klar, daß das Energiegesetz aussagt: diese Pendelschwingungen dauern unbegrenzt lange. Des Energiegesetzes wegen kann das Pendel von Anbeginn der Welt an geschwungen haben und bis zum jüngsten Tag weiter schwingen. Jedermann sieht aber, daß dies nicht hindert, daß in Wahrheit das Pendel zu einem ganz bestimmten Zeitpunkte fabriziert und aufgehängt und in Schwingungen gesetzt wurde und daß der Physiker, der das tat, es auch trotz aller Erhaltung seiner mechanischen Energie wieder abnehmen und zur Ruhe bringen kann. — Wer also, um nun wieder auf den Weltprozeß zurückzukommen, trotz des Energiesatzes ein Weltende und einen Weltanfang annehmen will, der braucht nur anzunehmen daß die Welt mit physikalisch-chemischen Gesetzen allein nicht auszuschöpfen ist, sondern noch Kräfte von ganz anderer Art enthält oder einer Kraft ganz anderer Art gar ihren Ursprung verdankt. Es verhält sich damit ähnlich wie mit dem bekannten Beispiel, daß aus einem geschlossenen Kreise ein im Innern desselben befindliches Objekt nicht heraus kann, solange es gezwungen ist, in der Ebene zu bleiben, daß dies aber sofort möglich ist, wenn eine neue, die dritte Dimension des Raumes zur Verfügung steht. Die einzige Frage ist, ob man Grund genug zu der Annahme einer solchen neuen Dimension hat, in unserem Falle also einer Macht, die beliebig aus Nichts schaffen und ins Nichts zerstören kann und zu der weiteren Annahme, daß diese Macht das auch getan habe, bzw. tun werde. Hier sollte zunächst nur festgestellt werden, daß der Energiesatz als solcher nichts dazu beitragen kann, diese Frage zu entscheiden.

Im übrigen ist, wie schon S. 153 angedeutet wurde, und weiter unten mit besonderer Bezugnahme auf die Relativtheorie noch einmal ausgeführt werden soll, von vornherein die ganze Fragestellung überhaupt schon schief, wenn man von „Schöpfung“ in dem Sinne eines zeitlichen Anfangs der Welt redet. (Vorher war dann also zwar Zeit, aber noch keine Welt da). Die Zeit ist eben, auch abgesehen von der ganz handgreiflichen Formulierung, die diese Erkenntnis in der Relativtheorie gefunden hat, als eine Eigenschaft der „Welt“ selber anzusehen.

Als Gesamtergebnis, das uns das Erhaltungsgesetz lehrt, kann man demnach nur dies hinstellen, daß, soweit die Welt rein physikalisch-chemisch

betrachtet wird, für das Geschehen darin weder ein Anfang noch ein Ende feststellbar ist. In keinem Falle sagt das Erhaltungsgesetz aber etwas darüber aus, was geschieht. Es enthält ja nur die Feststellung: Wenn überhaupt etwas geschieht, dann bleibt dabei die Energie und die Masse oder irgendein beiden gemeinsamer Oberbegriff konstant. Aber ob etwas geschieht und was geschieht, das ist damit ersichtlich noch nicht vollständig bestimmt. Der Energie-Massensatz ist notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung alles Geschehens.

Wir haben aber ein weiteres allgemeines Gesetz, das berufen erscheint, diese Lücke auszufüllen, nämlich das Entropiegesetz. Über die Bedeutung desselben für das allgemeine Weltbild ist bis auf diesen Tag so viel schon geschrieben und geredet worden, wie über kaum ein anderes Naturgesetz. Ist es doch manchen z. B. als das willkommene Sprungbrett zu einem Beweise für die Endlichkeit der Welt und damit für die Notwendigkeit der Annahme eines Schöpfers erschienen. Andererseits hat es Häckel als einen Widerspruch gegen das „Substanzgesetz" erweisen zu können gemeint und sich deshalb in eine sehr bedenkliche Polemik gegen das Entropiegesetz eingelassen, die ihm eine harte, aber selbstverschuldete Abfertigung von physikalischer Seite (Chwolson) eingetragen hat. Dem Laien kann deshalb unter allen Umständen nur die äußerste Vorsicht gegenüber allen Erörterungen über das Entropiegesetz empfohlen werden. Wir wollen versuchen, hier zu einem nach jeder Richtung hin einwandfreien Ergebnis zu kommen, und sei dies auch nur ein negatives. Es ist immerhin schon viel wert, wenn man weiß, was man und wie man nicht beweisen kann[78].

Der Inhalt des Entropiegesetzes oder des „zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre" ist bereits oben (s. S. 81 ff.) kurz dargelegt. Es besagt, daß in molaren Dimensionen ein Perpetuum mobile zweiter Art unmöglich ist, d. i. ein Apparat, der ohne Energiezufuhr noch Energieverlust dauernd im Gange bleibt. Der Grund dafür ist die Entwertung der Energie durch Zerstreuung, die, wenn nicht anders, dann wenigstens durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung fortgesetzt stattfindet. Diese Zerstreuung bedeutet, wie wir oben sahen, im Lichte der kinetischen Wärmetheorie nichts anderes, als daß bei den „ungeordneten" Bewegungen der Moleküle immer von selbst sich der wahrscheinlichste Zustand der Geschwindigkeitsverteilung herstellt.

Wir bezeichnen nun den in andere Energiearten beliebig verwandelbaren Bruchteil der Gesamtenergie als die „freie Energie“ des Systems. Der Entropiesatz kann dann auch so formuliert werden, daß die freie Energie eines beliebigen Systems, das sich selbst überlassen ist, im Laufe hinreichend langer Zeiten auf immer kleinere Beiträge herabsinkt, weil durch die Wärmezerstreuung der Temperaturunterschied, dem der verwandelbare Bruchteil proportional ist, mehr und mehr verschwindet. Oder kurz: Die freie Energie nimmt dauernd ab. Dieser Prozeß geht ohne unser Zutun von selbst vor sich. Es handelt sich dabei aber — ausdrücklich bemerkt — um Vorgänge in Dimensionen, die groß sind gegen die Molekulardimensionen. Das Entropiegesetz ist ein Durchschnitts-, ein statistisches Gesetz sozusagen (vgl. oben).

Aus der Tatsache nun, daß, wie der Entropiesatz ausspricht, in jedem endlichen in sich abgeschlossenen Körpersystem die freie Energie auf immer kleinere Beträge herabsinkt, hat man einen außerordentlich weittragenden Schluß auf die Welt im ganzen ziehen zu können geglaubt. Man hat nämlich gemeint, es folge daraus, daß die Welt ebenso einmal dem sicheren „Wärmetode“ entgegengehe, wie jedes beliebige physikalische System, dem keine Energie von außen zugeführt wird; und andererseits, da die Welt doch von diesem Schicksal bisher noch nicht ereilt sei, so ergäbe sich daraus, daß sie noch nicht unendlich lange Zeit bestehen könne, denn sonst müßte dies Ende bereits eingetreten sein. Auf diese Weise haben insonderheit manche christliche Apologeten eine Art von physikalischem Schöpfungs- bzw. Gottesbeweis führen zu können geglaubt, aber auch mancher andere, so z. B. Ed. v. Hartmann hat schon den genannten Gedankengang für unausweislich erklärt[79]. Sehen wir nun zu, wie es mit diesen Schlüssen bestellt ist.

Lassen wir zunächst die stillschweigend hier überall gemachte Voraussetzung, daß der Entropiesatz wirklich ein schlechthin gültiges Weltgesetz sei, weiter gelten, so kann man trotzdem leicht einsehen, daß der Schluß von da auf die zeitliche Endlichkeit ein Trugschluß ist. Er setzt nämlich zum mindesten voraus, daß die räumliche Endlichkeit der Welt schon irgendwie feststehe. Nimmt man eine räumlich unendliche Welt an, so dauert in dieser sicher auch der Energieausgleich unendlich lange, selbst wenn er sich, was durchaus nicht der Fall ist, stets mit Lichtgeschwindigkeit vollzöge. Innerhalb eines solchen räumlich unendlichen Universums könnte man dann nicht einmal für ein bestimmtes einzelnes System die Notwendig-

keit des schließlichen Wärmetodes behaupten, da niemals die Garantie bestände, daß nicht diesem System von außen immer wieder Energie in nutzbarer Form zugeführt würde. Das ist nun aber nicht, wie Ed. v. Hartmann meint, ein Grund, die räumliche Endlichkeit der Welt zu fordern, damit der Entropiesatz ein wirklich exakt gültiges Gesetz sein könne. Sondern der Entropiesatz selbst enthält ja ausdrücklich die Voraussetzung, daß es sich um ein endliches, in sich abgeschlossenes System handele, dem keine Energie zugeführt wird. Er gilt, so genau diese Voraussetzung erfüllt ist. Wer mit Ed. v. Hartmann schließt: die Welt muß endlich sein, damit der Entropiesatz gilt, kann gerade so gut schließen: Es darf keine Reibung geben, damit die Galileischen Fallgesetze gelten. Das ist ein reiner Sophismus. Wir müssen vielmehr umgekehrt sagen: Der Entropiesatz gilt, aber er enthält eben die Voraussetzung, daß das betrachtete System isoliert sei. Gilt diese Voraussetzung nicht, so gelten auch die Konsequenzen nicht, die der Entropiesatz daran knüpft. Kurz gesagt: Die Isoliertheit des Systems ist nicht die Voraussetzung der Gültigkeit des Entropiesatzes überhaupt, sondern die Voraussetzung, an welche der Entropiesatz selbst gewisse Konsequenzen, nämlich den „Wärmetod" knüpft. Um noch einen anderen Vergleich zu gebrauchen: Wenn ein Viereck ein Parallelogramm ist, so halbieren sich seine Diagonalen. Was würde Ed. v. Hartmann zu einem Mathematiker gesagt haben, der daraufhin schlösse: Also müssen, damit dieser Satz eine absolut gültige geometrische Wahrheit sein kann, alle Vierecke Parallelogramme sein? — Es handelt sich um eine Äquivokation mit dem Worte: „Voraussetzung."

Etwas anders versuchen andere Verteidiger der „Konsequenzen des Entropiegesetzes" sich um den unbequemen Einwand der möglichen Unendlichkeit des Weltraumes zu drücken. Sie gehen zunächst von der Erfahrungstatsache aus, daß die Welt in lauter einzelne relativ ziemlich vollständig isolierte Systeme zerfällt. Selbst eine Sonne wie der Sirius, dessen Energiestrahlung für uns meßbare Beträge erreicht, liefert doch unserem ganzen Planetensystem einen so verschwindend kleinen Betrag gegenüber dessen eigener Energiebilanz, daß man von diesem ganz absehen kann, ohne einen nennenswerten Fehler zu begehen. Man kann also praktisch unser Planetensystem als ein isoliertes oder jedenfalls keine Energie von außen erhaltendes System betrachten. (Es verliert sogar fortwährend gewaltige Energiemengen, ist also insofern nicht isoliert.) Dasselbe gilt nun mit einiger Wahrscheinlichkeit auch in größeren Dimensionen. Faßt man

unser gesamtes Fixsternsystem als eine „Welteninsel" zusammen, so werden wir annehmen dürfen, daß, wenn es außer diesem nun noch andere ihm koordinierte ähnliche Systeme gibt, die Enfernung derselben von dem unsrigen sich zu dem Durchmesser eines dieser Systeme verhält, wie etwa die Entfernung zweier Planetensysteme zu dem Durchmesser unseres Planetensystems. So wenig nun bei dieser unermeßlichen relativen Entfernung ein Planetensystem (eine Sonne) das andere beeinflußt, so wenig werden auch etwaige andere Welteninseln, falls es solche geben sollte, die unsrige, das Milchstraßensystem, beeinflussen. Dieses kann also wiederum als relativ vollständig isoliert gelten, muß also wiederum dem Wärmetode verfallen usw. — Meistens wird nun überdies noch stillschweigend diese unsere Welteninsel dann mit Welt überhaupt identifiziert, und daraus dann der Schluß gezogen, daß also die Physik die endliche Dauer des Weltprozesses „auf Grund der Beobachtungstatsachen" folgern müsse, womit dann die Schöpfungslehre gerechtfertigt sein soll. Allein selbst wenn man jene grobe Begriffsvertauschung vermeidet, so beweist der ganze Gedankengang nichts, als etwas, was wir schon wußten, daß nämlich der Energieaustausch um so länger dauert, je größer das betrachtete System ist. Ob man im übrigen dann ein Planetensystem oder eine Welteninsel oder einen Glasballon von einigen Kubikmetern Inhalt im Laboratorium betrachtet, ist ganz gleichgültig. Daß jedes solche endliche System schließlich dem Wärmetode zustrebt, wird ja einstweilen nicht bestritten. Das bliebe auch dann gültig, wenn wir von unserem astronomischen Raume (A) zu Chwolsons oben erwähntem fabelhaften Raume Z übergingen. Niemand aber kann sagen, was sich ergibt, wenn wir nun zur Unendlichkeit in Gedanken übergehen. Nur schätzungsweise kann man etwa sagen, daß die Sache, je größer die Dimensionen werden, nicht nur proportional diesen Dimensionen, sondern verhältnismäßig noch viel längere Zeit dauert. Das ergibt sich daraus, daß der Energieinhalt eines Systems in erster Näherung dem Volumen, d. i. der dritten Potenz der linearen Ausdehnung proportional ist, während der Energieausgleich in erster Linie den Oberflächengrößen, also nur dem Quadrate der Linearausdehnung proportional wächst. So kann also, wenn überhaupt hier Schlüsse zulässig sind, nur geschlossen werden, daß bei räumlicher Unendlichkeit die Zeit des Weltprozesses erst recht unendlich wird. Viel besser aber ist es, man sieht ein, daß überhaupt solche Schlüsse lieber unterlassen werden sollten. Das Entropiegesetz bezieht sich

der Lage der Sache nach auf endliche, isolierte Systeme. Also unterlasse man seine Anwendung auf das Universum, dessen Unterordnung unter diesen Begriff nicht zulässig ist.

Es kommt aber zu diesem Bedenken noch ein zweites hinzu. Selbst wenn nämlich einmal zugestanden wird, daß das Weltall endlich dem Raume nach sei, so ist damit der Schluß vom Entropiegesetz auf die zeitliche Endlichkeit des Weltprozesses noch keineswegs eine logische Notwendigkeit,

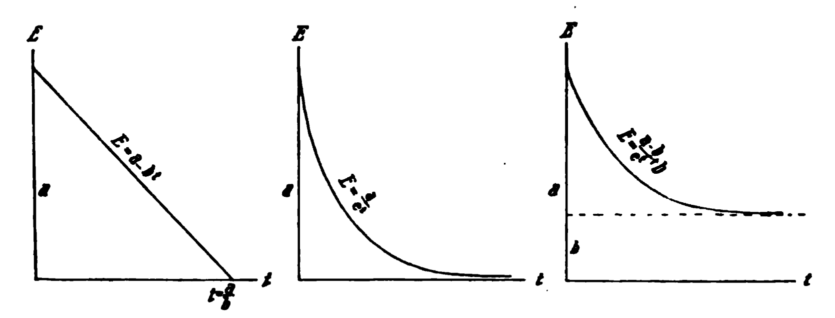


Abb. 26. Abnahme der freien Energie.

sondern bedarf noch weiterer Voraussetzungen. Der Inhalt des Entropiegesetzes erschöpft sich in der Aussage, daß die freie Energie eines endlichen Systems fortgesetzt sinkt. Es sagt aber gar nichts darüber aus, mit welcher Geschwindigkeit dieses Sinken vor sich geht. Der Schluß, daß eine Größe, die fortwährend abnimmt, schließlich nach einer gewissen, wenn auch sehr großen Zeit den Wert 0 erreichen müsse, ist einer der gewöhnlichsten Trugschlüsse, die dem nicht mathematisch geschulten Denken widerfahren. Er ist aber nichtsdestoweniger einfach falsch.

Bezeichnen wir die Zeit mit t, die fragliche mit der Zeit veränderliche, und zwar abnehmende Größe mit E, so könnte z. B. $E = a - bt$ oder $E = a \cdot e^{-t} = \frac{a}{e^t}$ oder $E = (a-b)\,e^{-t} + b$ sein, worin a, b, e irgendwelche bestimmte Zahlenwerte bedeuten. Alle drei Ausdrücke haben, wie man leicht einsieht, die Eigenschaft, mit wachsendem t fortgesetzt abzunehmen. Für $t = 0$, d. h. für den Anfangspunkt der Zeitrechnung ist in allen drei Fällen $E = a$, da $e^0 = 1$ ist. Für $t = \infty$ dagegen wird nur im ersten Falle $E = -\infty$, was natürlich, wenn E die freie Energie bedeutet, unmöglich ist. Nur für ihn wird dementsprechend $E = 0$, wenn $a = b\,t$, d. h. $t = \frac{a}{b}$ ist, also in einem bestimmten Zeitpunkt. Für die beiden

anderen Fälle dagegen wird für $t = \infty$, 2. $E = \frac{a}{e^{\infty}} = \frac{a}{\infty} = 0$, d. h. den Wert 0 erreicht E erst nach unendlicher langer Zeit oder 3. $E = \frac{a-b}{e^{\infty}} + b = \frac{a-b}{\infty} = 0 + b = b$, d. h. nach unendlicher langer Zeit erreicht die Größe E den Endwert b. Stellt man alle drei Fälle graphisch dar, so ergeben sich drei Bilder (Abb. 26).

Das erste zeigt, wie E (die freie Energie etwa) in einer endlichen Zeit $\left(t = \frac{a}{b}\right)$ von dem Anfangswert a auf den Endwert 0 sinkt. Das zweite, wie E von einem Anfangswert a aus sinkt, aber, immer langsamer sinkend, den Wert 0 erst nach unendlich langer Zeit erreicht. (E verläuft „asymptotisch" gegen Null.) Das dritte Bild endlich zeigt, wie E von dem Anfangswerte a ausgehend, in unendlich langer Zeit dem Endwerte b zustrebt, den es in endlichen Zeiträumen nie erreicht.

Da ähnliche Überlegungen nach rückwärts (Weltanfang) möglich sind, und zwar zwei Fälle sich als denkbar ergeben, so sind im ganzen $3 . 2 = 6$ verschiedene Arten denkbar, wie die freie Energie bei fortwährender Abnahme während der Zeit verlaufen könnte. Von diesen sechs Fällen berücksichtigt der gewöhnliche Schluß vom Entropiegesetz auf die zeitlich begrenzte Dauer des Weltprozesses nur einen einzigen, und erweist sich dadurch als ein sehr voreiliger, nicht genügend begründeter Schluß. Soll dieser vielmehr gelten, so muß offenbar zu der Aussage des Entropiegesetzes, daß die freie Energie abnimmt, noch eine nähere Annahme darüber treten, wie, d. h. nach welchem Gesetz sie abnimmt; es gehören also, mit anderen Worten, dazu noch spezielle Voraussetzungen über die Art und den Verlauf des fraglichen Energieaustausches, Voraussetzungen, die nur durch besondere Erfahrungstatsachen zu begründen sind. Fragen wir nun die Erfahrung danach, dann ergibt sich freilich, wie das auch der schließliche Stillstand aller praktisch uns vorkommenden isolierten Systeme zeigt, daß anscheinend der erste oder zweite Fall den Typus des Energieaustausches repräsentieren, und zwar ergibt sich die größere Wahrscheinlichkeit für den zweiten Fall, d. i. die Erreichung des Endwertes 0 der freien Energie theoretisch nach unendlich langer Zeit, praktisch, meßbar, schon in hinreichend langer endlicher Zeit. Diesem Typus entspricht nämlich das in erster Linie hier in Frage kommende Gesetz, das sog. Abkühlungsgesetz. Trotz alledem dürfte dann aber doch eine Verallgemeinerung dieser unserer irdischen speziellen Fälle auf das Werden und Vergehen im

Weltall eine recht bedenkliche Sache sein — ganz abgesehen von der hier gemachten, an sich schon durch nichts beweisbaren Voraussetzung der räumlichen Endlichkeit der Welt.

Und nun kommt zu alledem noch ein drittes, vielleicht das schwerwiegendste Bedenken. Wir haben bisher stillschweigend, wie oben schon erwähnt wurde, dem Entropiegesetz eine schlechthin allgemeine Gültigkeit zugesprochen, also angenommen, daß es uneingeschränkt für alle beliebigen Naturvorgänge und Systeme gelte. Ist dies wirklich eine sicher konstatierte Wahrheit? Wir sagten schon oben, daß zunächst schon einmal die Einschränkung notwendig ist, daß es sich nur um Prozesse in Dimensionen handelt, die groß gegen die Molekulardimensionen sind, daß hingegen für die Molekularbewegung selbst (und die Brownsche Bewegung) das Gesetz in dem Sinne einer fortwährenden Abnahme der freien Energie nicht gilt. — Machen wir uns nun klar, daß das Entropiegesetz ein *Durchschnittsgesetz* ist, so dürfen wir, um wirklich exakt zu sein, gar nicht einmal sagen: *Weil* immerfort sich die Temperaturen ausgleichen, darum nimmt die *freie* Energie dauernd ab. Sondern wir müssen sagen: *Wenn und soweit ein nicht wieder rückgängig zu machender Temperaturausgleich stattfindet, gilt das Entropiegesetz.* So angesehen aber wird die Frage unabwendbar, ob denn wirklich eine Umkehrung des Temperaturausgleichs ohne Arbeitsleistung nicht nur empirisch-praktisch, sondern theoretisch absolut unmöglich ist. Man wird, um diese Frage zu beantworten, der Sache auf den Grund gehen müssen und also fragen, ob die Molekularbewegungen, die ja für die Temperatur maßgebend sind, notwendig zu diesem Ergebnis führen müssen. Nun wird man sagen: Ja, das beweist eben nach *Boltzmann* die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Gut, aber weiter: Die Wahrscheinlichkeitsrechnung setzt, wie wir sahen, die „Annahme der elementaren Unordnung" voraus; die Moleküle müssen sich regellos durcheinander bewegen. So läuft also unsere Frage darauf hinaus, ob es undenkbar ist, daß es *Apparate oder allgemeiner irgendwelche Körper gibt, die die ungeordnete Bewegung der Moleküle* (notabene ohne Arbeitsaufwand) *ordnen können*, die also die Moleküle etwa nach ihren Geschwindigkeiten voneinander sondern könnten. *Maxwell* fingierte, um diese Verhältnisse zu illustrieren, „kleine Geister", die dieses Werk besorgten. Man kann aber auch ohne solche sich davon eine Vorstellung bilden. Es möge in einem Gefäße mittendurch eine Scheidewand liegen, die die Eigen-

tümlichkeit hätte, von der einen Seite, etwa von links her, nur Moleküle mit Geschwindigkeiten unterhalb einer gewissen Grenze, von der anderen Seite her nur solche oberhalb dieser Grenzgeschwindigkeit durchzulassen. Dann müßten sich rechts die langsameren, links die schnelleren Moleküle ansammeln, d. h. der Apparat würde rechts von selbst kälter, links wärmer, und könnte auf diese Weise fortgesetzt nutzbare Energie liefern, also ein Perpetuum mobile zweiter Art ermöglichen. Nun lehrt uns ja allerdings gerade die Erfahrung, daß das nicht geht. Hier handelt es sich aber um die Frage, ob das nicht gehen kann. Und das kann die Erfahrung niemals beweisen, da sie keine negative Beweiskraft hat. Wenn heute ein solcher Apparat konstruiert würde, so würde damit das Entropiegesetz keineswegs vollständig widerlegt, sondern es würde nur das erleben, was fast alle physikalischen Gesetze erleben müssen, es würde auf bestimmte Gruppen von Systemen eingeschränkt werden. Es ist unzulässig, zu sagen, ein solcher Apparat widerstreite der Erfahrung, wie es stets unzulässig ist, eine andere denkbare Möglichkeit als Widerspruch gegen die Erfahrung zu bezeichnen. Es kann stets nur eine Ergänzung oder Einschränkung der die bisherige Erfahrung formulierenden Sätze in Frage kommen. Woher nehmen wir nun die Überzeugung, daß beim Entropiegesetz eine solche Einschränkung in alle Zukunft ausgeschlossen sei? Das einzige, was man dafür anführen kann, ist die bisher bewiesene außerordentliche Vielseitigkeit dieses Gesetzes. Es steht in seiner Anwendungsfähigkeit, wie schon bemerkt wurde, dem Energiesatze nicht nur nicht nach, sondern übertrifft ihn fast noch. Dennoch und trotz alledem dürfte doch wohl einem großen Teil der Physiker bei der Behauptung, daß Entropiegesetz und Energiegesetz in dieser Hinsicht ganz gleich stehen, nicht ganz wohl zumute sein. Der Grund dafür ist leicht zu finden. Er liegt in der ziemlich unmittelbaren Beziehung, die zwischen dem Energiesatz und dem Kausalitätsprinzip besteht. Wir können uns die Welt ohne den Energiesatz oder doch ein allgemeineres, ihn mit umfassendes Erhaltungsgesetz deshalb nicht gut denken, weil der Satz uns nur als die physikalische Formulierung des Grundsatzes: Ex nihilo nihil fit erscheint. Der Gedanke, daß Energie oder Masse ohne Kompensation aus nichts entstehen könnte, oder ins Nichts verschwinden könnte, erscheint uns, nachdem wir einmal die Entwicklung der Physik bis hierher gefördert haben, unvollziehbar, wenn das auch früheren Geschlechtern nicht so gegangen ist. — Etwas Ähnliches aber kann man vom Entropiesatz nicht sagen. Man hat wohl versucht, auch diesem eine solche Beziehung

auf ein allgemeines Denkgesetz zu geben. Man hat gesagt, da der Energiesatz die Richtung des Geschehens unbestimmt lasse (s. o. S. 168), so sei ein Gesetz nötig, das die Richtung des Geschehens bestimme. Das sei aber der Entropiesatz mit seinem Inhalte, daß die Welt stets von selbst aus unwahrscheinlichen Zuständen zu wahrscheinlicheren übergehe. Somit sei der Entropiesatz sozusagen die physikalisch exakte Formulierung der allgemeinen Wahrheit, daß stets etwas ganz Bestimmtes geschieht, d. h. daß die physikalischen Prozesse eindeutig in einer bestimmten Richtung verlaufen, oder daß „der Weltprozeß nicht umkehrbar ist". Allein abgesehen davon, daß z. B. die Brownsche Bewegung von diesem Gedankengang, der doch allgemeingültig sein sollte, sicher nicht mit betroffen würde, ist die ganze Argumentation schief. Das Geschehen richtet sich nämlich durchaus nicht allein nach dem Entropiesatz, als ob dieser die hinreichende Bedingung dafür wäre. Es hat noch kein Energetiker uns vorgemacht, wie man aus Energie- und Entropiesatz alle physikalischen Gesetze deduzieren könnte. Es ist auch sehr zu bezweifeln, daß das je gelingen wird. Denn zur eindeutigen Bestimmung eines physikalischen Vorganges gehören eben spezielle Gesetze oder aber das (hypothetische) Grundgesetz, zu denen (dem) sich Energie- und Entropiesatz günstigstenfalls verhalten wie ein allgemeines Integral zu besonderen Differentialgleichungen — etwa wie der Flächensatz zu allen möglichen Gesetzen über Zentralbewegungen. Eine solche allgemeine Folgerung des speziellen Gesetzes kann dies letztere nicht für alle Fälle, sondern höchstens für einzelne ganz bestimmte Fälle ersetzen, wie wir das ja auch an der Brownschen Bewegung sehen. Es ist aus diesem Grunde also schon unzulässig, den Entropiesatz als physikalischen ausreichenden Ausdruck der Überzeugung anzusehen, daß stets etwas Bestimmtes geschieht. Das sind vielmehr die einzelnen physikalischen Gesetze, bzw. das Grundgesetz. Man kann das auch umgekehrt leicht daran einsehen, daß die bestimmte Richtung des Geschehens auch dann vorläge, wenn das Gegenteil des Entropiesatzes für ein System gälte. In unserem oben fingierten Apparat, der die Moleküle nach verschiedenen Geschwindigkeiten sonderte, würde sich doch auch ein Geschehen in ganz bestimmter Richtung vollziehen, allerdings in der unserem Erfahrungsbereich entgegengesetzten Richtung einer Vermehrung der freien Energie. Aber ist das keine bestimmte Richtung?

Kurz, man mag die Sache betrachten, von welcher Seite man immer wolle, es fehlt dem Entropiesatz, obwohl er sicherlich auf einer ebenso

breiten Erfahrungsgrundlage ruht wie der Energiesatz, doch jenes Imponderabile instinktiver Überzeugung, das uns ein Körpersystem, das dem Erhaltungsgesetz widerspräche, direkt als ein *Wunder* erscheinen lassen würde. Einen Apparat, der die *freie Energie* vermehrte, also Molekularenergie wieder in molare Energie verwandelte, würden wir dagegen nicht als Wunder, sondern nur als sehr bewundernswürdig empfinden. Es hält gewiß schwer, sich eine Welt auszumalen — selbst mit der Phantasie eines Verne und Laßwitz —, in der das Gegenteil des Entropiesatzes gälte*). Wunderlich genug würde es darin aussehen; irgend etwas der unsrigen Ähnliches würde schwerlich darin vorkommen. Aber eine Absurdität von dem Grade, wie eine Welt, in der Energie und Masse aus Nichts entstehen, würde sie doch nicht sein.

Aus allen angeführten Gründen ergibt sich, daß das Entropiegesetz in keiner Weise als das sichere Fundament eines Beweises für die zeitliche Endlichkeit der Welt angesehen werden kann. Selbst wenn man die Bedenken der letzten Kategorie betreffend die universale Gültigkeit des Gesetzes nicht anerkennen will, so bleibt durchschlagend der Gedanke an die Unbestimmtheit der räumlichen Ausdehnung des Universums. *Wir müssen deshalb einfach erklären, daß wir über diese Frage nichts Positives wissen.* So wenig das Erhaltungsgesetz uns die Ewigkeit der Welt garantiert, wenn man noch andere als rein physikalisch-chemische Mächte in der Welt zuläßt, so wenig garantiert das Entropiegesetz die Endlichkeit des Weltlaufs. Alles, was hierüber in populären und oft von der Parteinahme für bestimmte Weltanschauungen diktierten Darstellungen geschrieben und geredet wird, ist unbegründete Dogmatik.

Es mag hier auch nicht unerwähnt bleiben, daß mehrfach vorgeschlagen worden ist, als physikalische Wirklichkeit, welche dem *Zeitbegriff* zugrunde liegt, geradezu die Entropievermehrung anzusehen, ja sogar Entropiefunktion und Zeit einfach zu identifizieren. Der Vergleichspunkt bei beiden ist der nicht umkehrbare Richtungssinn. Es erscheint mir aber denn doch reichlich gewagt, daraufhin eine solche Gleichsetzung der beiden im übrigen doch völlig verschiedenen Begriffe vorzunehmen. Der reale Sinn

*) In *Auerbachs* Sprache eine Vermehrung der *Ektropie*. Letzteren Begriff stellt er der Clausiusschen Entropiefunktion entgegen.

des Begriffes Entropie selbst ist einstweilen noch eine sehr strittige Frage, die ausführlich darzulegen fast ein ganzes Buch erfordern würde. Clausius hatte diese Größe zunächst als eine bloß mathematische Hilfsgröße eingeführt. Was ihr jedoch als physikalische Wirklichkeit entspricht, ist gar nicht so einfach zu sagen[78]. In diesem Zusammenhang wollen wir nun auch auf diejenigen Probleme etwas ausführlicher eingehen, welche sich an den Zeitbegriff in der Relativitätstheorie anschließen. Um darin klar zu sehen, müssen wir zunächst folgendes überlegen:

Eine Bewegung kann ein-, zwei- oder dreidimensional sein, d. h., sie kann auf eine Linie oder eine Fläche beschränkt sein, oder den ganzen

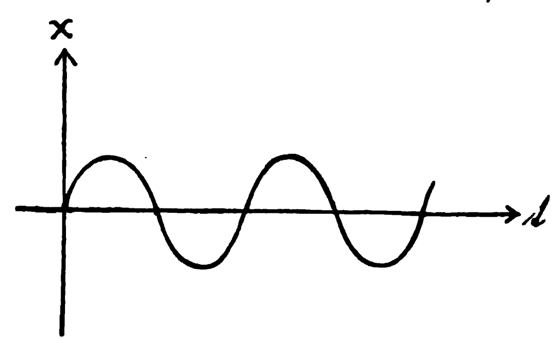


Abb. 27. Sinuskurve.

Raum zur Verfügung haben. Beispiele für den ersten Fall liefern ein Eisenbahnwagen auf den Schienen, sowie das gewöhnliche, auf eine Kreisbahn gebannte Pendel u. a., für den zweiten Fall ein Schlittschuhläufer auf dem Eise, ein den Bergabhang herabrollender Stein, das „Kegelpendel" (dem eine Kugeloberfläche zur Verfügung steht) u. a. Als Beispiel für Bewegung mit „drei Freiheitsgraden" sei an einen Vogel oder einen Flieger erinnert. Zur Festlegung des Ortes des bewegten Punktes gebrauchen wir im ersten Falle eine, im zweiten zwei, im dritten drei Koordinaten (x, y, z). In Gedanken können wir auch noch höher dimensionale Bewegungen konstruieren. Nehmen wir nun als einfachsten Fall eine lineare Bewegung, z. B. die gewöhnliche Pendelbewegung (Abb. 3). Ist der Abstand des Pendels von der Mittellage x, so wird x als Funktion der Zeit graphisch durch eine Sinuskurve (Abb. 27) dargestellt. In dieser Figur sehen wir „uno aspecto" räumlich nebeneinander, was in Wahrheit in der Zeit hintereinander ist. Das haben wir dadurch erreicht, daß wir die Zeit als zweite Koordinate neben der „Elongation" x als erste räumlich gefaßt haben. E i n d i m e n s i o n a l e B e w e g u n g

erscheint so als zweidimensionales Bild. Genau dasselbe gilt aber nun auch für höhere Dimensionszahl. Eine Bewegung in einer Ebene z. B., die gleichförmig im Kreise erfolgte, könnte als Raumkurve dargestellt werden, indem man die t-Achse im Mittelpunkt des Kreises senkrecht errichtet. Dann würde das graphische Bild jener gleichmäßigen Kreisbewegung eine Schraubenlinie sein (Abb. 28). Allgemein erscheint n-dimensionale Bewegung als (n + 1) -dimensionales Bild.

In genau derselben Weise faßt nun die Einstein-Minkowskische Theorie jede dreidimensionale Bewegung als „Weltlinie" in einem vierdimensionalen Raum auf. So entstehen dann zwei Fragen: 1. Wie ist dieser Raum beschaffen? und 2. wie verlaufen in ihm die wirklichen Weltlinien? Auf die erste Frage ist die Antwort schon oben gegeben: Der „Raum", besser: das „metrische Feld", hängt von der Materie ab.

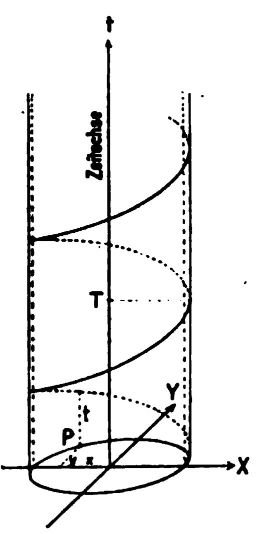


Abb. 28. Schraubenlinie als Bild einer Bewegung im Kreise.

Man kann deshalb allgemein theoretisch nur die Frage so stellen: Welche Verteilungen von Materie und Feld sind als im Gleichgewicht befindlich denkbar? Die Antwort lautet**, daß eine im Durchschnitt gleichmäßige Verteilung der Materie nur denkbar ist, wenn das System endlich, das Feld also in sich geschlossen, ferner, wenn es im Mittel überall gleich (homogen) ist, mit anderen Worten, wenn es dieselben oder ähnliche Eigenschaften wie im Zweidimensionalen eine Kugeloberfläche besitzt. In diesem Falle wäre dann auch jede dreidimensionale Projektion der „Welt" natürlich endlich, also auch unser Raum, was durch astronomische Messungen festzustellen sein müßte. Es gäbe dann eine absolute Längeneinheit (den Radius oder „Umkreis" jener Kugel) und ferner würde jeder Stern auch nach einer zweiten, im allgemeinen entgegengesetzten Richtung sichtbar sein durch Strahlen, die um die „Kugel" herumgelaufen sind, das Bild des Sternes läge ihm dann gegenüber, würde allerdings im allgemeinen nicht notwendig mit ihm zugleich sichtbar sein, weil das Licht von dem Stern und dem Bild zu uns sehr verschieden lange Zeit gebrauchen würde. Ja, die Einsteinsche Lehre erlaubt sogar, den Umfang und In-

halt dieser geschlossenen „Welt“ zahlenmäßig abzuschätzen, vorausgesetzt, daß man die Dichtigkeit der Materieverteilung in ihr kennt[81]. Nimmt man an, daß diese letztere etwa gleich der in unserer Gegend des Weltraums herrschenden ist (s. u.) so ergibt sich nach den Schätzungen von Einstein de Sitter u. a. ungefähr ein Umfang von der Größenordnung 100 Millionen Lichtjahre und ein Rauminhalt von rund 10^{77} ccm. Natürlich sind das einstweilen höchst vage Vermutungen.

Ob wir uns nun wirklich in einem derartigen Raum befinden, ist allerdings eine offene Frage. Lassen wir sie auf sich beruhen und wenden uns zu der zweiten: Wie verlaufen in einem derartigen Raume (diesen einmal vorausgesetzt) die „Weltlinien“? Es liegt außerordentlich nahe, hier an die „Lehre von der ewigen Wiederkehr“ zu denken. Um es mit Weyls Worten zu sagen[82] — „es kann also prinzipiell geschehen, daß ich jetzt Ereignisse miterlebe, die zum Teil erst eine Wirkung meiner künftigen Entschlüsse und Handlungen sind. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß eine Weltlinie . . ., insbesondere die Weltlinie meines Leibes, in die Nähe eines Weltpunktes zurückkehrt, den sie schon einmal passierte. Daraus würde dann ein radikaleres Doppelgängertum resultieren, als es je E. T. A. Hoffmann ausgedacht hat. Tatsächlich kommen ja so erhebliche Variabilitäten der g_{ik}*), wie dazu erforderlich wären, in dem Weltgebiet, in welchem wir leben, nicht vor; doch hat es ein gewisses Interesse, diese Möglichkeiten durchzudenken mit Rücksicht auf das philosophische Problem des Verhältnisses von kosmischer und phänomenaler Zeit . . .“

Ich möchte diese Sätze nicht bedingungslos unterschreiben. Wir müssen nämlich zweierlei bedenken. Zum ersten ist es an sich nicht nötig, auch wenn das Gebiet ein endliches ist, daß jede Weltlinie in sich selbst zurückkehren muß. Man kann auch auf einer Kugeloberfläche leicht Kurven angeben, die niemals, wie weit man sie auch fortsetze, in sich zurückkehren, sondern entweder sich immer wieder selber schneiden, oder überhaupt nie wieder an dieselbe Stelle kommen. Zum anderen aber würde, selbst wenn wir uns auf solche Kurven beschränkten, die in sich selbst zurücklaufen, es nicht gesagt sein, daß sie alle schon nach einem Umlauf dies tun müßten. Nun gehören zu „meinem Leibe“ aber ebenso wie zu jedem Weltereignis überhaupt unzählige solche Weltlinien. Was uns hier als relativ in sich geschlossenes

---

*) Dies sind die Komponenten des das metrische Feld charakterisierenden „Fundamentaltensors“, zugleich maßgebend für die Gravitationswirkung

Ereignis (ein Menschenleben, ein Gewitter usw.) erscheint, würde also, in die Sprache der Minkowskiwelt übersetzt, ein System unendlich vieler solcher Linien sein, die eine gewisse vierdimensionale „Figur" bilden. Es ist unendlich unwahrscheinlich, daß eine solche nur aus Linien gebildet wird, die alle, und zwar alle nach gleich viel Umläufen, in sich selbst zurückkehren. Nur das würde aber Weyls „Doppelgänger" ergeben. Die Lehre von der „ewigen Wiederkehr" ist also nach der Relativtheorie nicht wahrscheinlicher, als nach der älteren Auffassung.

An diese Überlegungen würden nun auch die oben (S. 154, 159) stehengelassene Fragen nach der „Kontingenz der Welt" (in Hinsicht auf den tatsächlich vorhandenen Bestand) anzuknüpfen sein. Man könnte zunächst auf den Gedanken kommen, die alte Auffassung vom Laplaceschen Weltgeiste einfach in die Sprache der Minkowskiwelt zu übersetzen[83]. Jene operiert mit den feststehenden „Naturgesetzen", nach denen die Bewegungen eines Punktsystems eindeutig bestimmt sind, wenn der Anfangszustand, d. h. die Anfangswerte der drei Koordinaten x, y, z und der drei Geschwindigkeitskomponenten x', y', z' jedes Punktes gegeben sind. Mathematisch erscheinen dabei die „Naturgesetze" in Form von „Differentialgleichungen" (2. Ordnung), welche die zeitlichen Veränderungen jener Größen mit diesen selbst verknüpfen. In der Maxwell-Hertz-Lorentzschen elektromagnetischen Feldtheorie treten an die Stelle eines Teils dieser Anfangsbedingungen die „Randbedingungen". Grenzt man nämlich einen Raumteil durch eine geschlossene Fläche ab, so sind die Ereignisse in diesem Raumteil, da hier alle „Fernwirkungen" wegfallen, nur abhängig von dem Anfangszustand und dem Zustand, der während der betrachteten Zeitdauer für die Grenzfläche vorgeschrieben wird. Letztere Vorschrift bildet die sog. „Randbedingungen". (Ist z. B. das ganze System durch eine Metallwand eingeschlossen, so ist an dieser die elektrische Feldstärke dauernd Null.) Das „Naturgesetz" wird hier durch die Maxwell-Lorentzschen Gleichungen dargestellt. Um nun dies auf die Minkowskiwelt zu übertragen, haben wir zunächst zu fragen, was in deren Sprache das „Naturgesetz" ist, das den Ablauf regelt. Überträgt man die Zeit als vierte Koordinate in den Raum (s. S. 179), so verwandelt sich offenbar das kinematische Bewegungsgesetz eines Punktes in das rein geometrische Gesetz einer Linie und die Behauptung, daß die ganze Bewegung durch das Gesetz und den Anfangszustand (x_0, y_0 z_0, x'_0 y'_0 z'_0) gegeben ist, besagt jetzt, daß diese Linie durch einen Punkt und die Richtung (Tangente) in diesem Punkt

völlig festgelegt ist. (Dies ist, nebenbei gesagt, nur dann unbedingt richtig, wenn die fraglichen Gleichungen „analytische Funktionen" ergeben[84].) Nehmen wir jetzt beliebig viele Punkte und ein „dynamisches" Gesetz an, welches diese miteinander verknüpft, z. B. das Newtonsche Gravitationsgesetz, so heißt das, in die vierdimensionale Geometrie übertragen, folgendes: Es sind gegeben beliebig viele Punkte auf der „Basis" eines vierdimensionalen Zylinders (dieselbe ist ein begrenzter dreidimensionaler Raumteil), dazu durch jeden dieser Punkte eine „zeitartige" Richtung, also ein Stückchen d t in der Richtung der Zylinderachse. Dann gibt es ein Gesetz (das „dynamische" Gesetz), durch welches die Gleichung für jede einzelne dieser Linien im voraus festgelegt ist, welches, mit anderen Worten, den ganzen Gehalt des Zylinders an „Weltlinien" bis zu beliebiger Höhe bestimmt. Gehen wir von Newton und Lagrange zu Maxwell und Lorentz über, so ändert sich an dieser Betrachtung nur dies, daß das dynamische Gesetz jetzt nicht mehr Fernkräfte, sondern nur noch Nahewirkungen enthält, wir also den ganzen Raumteil (die Zylinderbasis) kontinuierlich mit einem „Feld" (eventl. mit Elektronen darin) ausfüllen müssen und somit jetzt der ganze Zylinder unendlich dicht von „Weltlinien" erfüllt zu denken ist, deren Gesetze jedoch wiederum sämtlich durch das dynamische „Grundgesetz" (die Lorentzschen Gleichungen) und die „Randbedingungen", die den Mantel des Zylinders darstellen, gegeben sind. Soweit scheint alles noch einigermaßen einfach zu sein. (Der nicht an mehrdimensionale Geometrie gewöhnte Leser übersetze sich zum Verständnis erst alles in eine um eins erniedrigte Dimensionszahl, nehme also zunächst die Schar von n-Punkten nicht im Raum innerhalb einer geschlossenen Fläche, sondern in einer Ebene innerhalb einer geschlossenen Kurve an.) Allein sobald wir auf den Standpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie übertreten[85], wird die Sache nun wesentlich anders. Bei allen bisherigen Betrachtungen ist nämlich ein beliebiger vierdimensionaler Raum vorausgesetzt, in den wir beliebig irgendeinen physikalischen Anfangszustand hineinsetzen, aus welchem sich dann nach ebenfalls an sich beliebig konstruierbaren Fern- oder Nahegesetzen der Zustand im nächstfolgenden Augenblick ergibt. Dies alles kann aber nach der allgemeinen Relativtheorie nicht mehr als zulässig gelten. Der Raum selbst (das „metrische Feld") ist hier ja eine Funktion der angenommenen „Materie", und das Gesetz dieser Abhängigkeit ist gleichzeitig das dynamische Grundgesetz, aus dem

alle speziellen Naturgesetze folgen sollen. Daraus ergeben sich nun, wie mir scheint, philosophisch sehr weittragende Folgerungen. Einmal nämlich ist es danach nur in einem ganz bestimmt zu definierenden Sinne möglich, ein „isoliertes System" zu setzen (innerhalb der „Welt"), man kann grundsätzlich nur noch die Welt als ganzes zum Objekt dieser ganzen Betrachtung machen, Praktisch zeigt sich das z. B. darin, daß schon das elementarste der hier bei uns geltenden „Naturgesetze", das Trägheitsgesetz, eine Folge der materiellen Verteilung des Fixsternsystems ist. Man kann indessen von räumlicher Isolation reden in dem Sinne, daß ein System materieller Teile von anderen durch große Zwischenräume (jetzt dies Wort im gewöhnlichen engeren Sinne genommen) getrennt ist, relativtheoretisch gesprochen also, daß sich die Weltlinien in bestimmten, engeren, „räumlich" weit getrennten Gebieten der Minkowskiwelt zusammendrängen. Es liegt auf der Hand, daß dadurch die Zeitkoordinate ausgezeichnet wird, insofern sich die meisten Weltlinien vorzugsweise in ihre Richtung erstrecken und in dieser Richtung alles kontinuierlich und gleichmäßig erfüllt erscheint. Vielleicht ist die Hypothese nicht allzu gewagt, daß darin der objektive Grund für die Auszeichnung der Zeit vor dem Raume und das vorzugsweise Vorkommen zeitlicher Kausalität gegeben ist. Wir würden dann mit anderen Worten zeitlich denken, weil wir räumlich isoliert sind. Die enge Beziehung der Zeitmessung zum Trägheitsgesetz (s. o. S. 54) erscheint so in einem eigenartigen neuen Licht.

Eine weitere hier sich anknüpfende Frage ist die folgende: Wenn wir uns die verschiedenen möglichen Arten krummer Flächen neben der Ebene anschaulich vorstellen können, so liegt dies daran, daß wir den dreidimensionalen ebenen (euklidischen) Raum zur Verfügung haben, in den jedes überhaupt denkbare zweidimensionale „metrische Feld" dieser Art „eingebettet" sein kann, (während umgekehrt in einem gekrümmten Raume keineswegs alle Arten von Flächen, z. B. unter bestimmten Bedingungen keine Ebenen denkbar wären). Ein Wesen, das beliebige nichteuklidische dreidimensionale Räume anschaulich vorstellen könnte, müßte entsprechend dazu notwendig selber in einem vierdimensionalen „ebenen" Raum leben. Nun ist die „Minkowskiwelt" der allgemeinen Relativitätstheorie eine nicht ebene vierdimensionale Mannigfaltigkeit veränderlicher Krümmung. Wir können uns diese also mit anderen ihresgleichen

wieder in einem fünfdimensionalen Raum „eingebettet“ denken, ja man möchte fast sagen: Sollte sich bei näherer Untersuchung bewahrheiten, daß unsere „Welt“ tatsächlich endlich in sich geschlossen ist, so muß der keine zufälligen Schranken der Erkenntnis duldende Menschengeist fast notwendig zu der Vorstellung kommen, daß es sich so verhält. Dann entsteht die Frage nach den möglichen anderen „Welten“ — von denen wir natürlich empirisch physikalisch deshalb nichts erfahren würden, weil diese ebenso wie die unsrige ja völlig in sich geschlossen gedacht werden könnten. Oder doch? Sollte vielleicht gar unsere „Welt“ nichts als die vierdimensionale (x, y, z, t) Projektion eines allgemeineren mehrdimensionalen Bestandes sein, jede Minkowskische „Weltlinie“ nur den Schnitt dieses Bestandes mit einem einzelnen (unserem) vierdimensionalen Raum-Zeit-Materie-Kontinuum bilden? Uns schwindelt vor solchen Möglichkeiten, aber wir werden der Relativitätstheorie auch dafür dankbar sein, daß sie solche Perspektiven eröffnet. Platos berühmtes „Höhlengleichnis“, bisher immer nur von der subjektiv-erkenntnistheoretischen Seite her durchdacht, erscheint im neuen Lichte objektiv-physikalischer Möglichkeiten[86].

Aber wir wollen uns nicht in allzu hohe Höhen versteigen, sondern zunächst einmal bei unserer „Welt“ bleiben. Die obige Erörterung lehrt noch ein anderes. Wenn, um Dinglers Ausdruck[87] zu gebrauchen, der „theoretische Urbau“ d. i. der Inbegriff aller allgemeinen Gesetze und Theorien, schließlich in dem Grundgesetz der allgemeinen Relativitätstheorie oder einer noch höheren Synthese („L. E. P.“, s. o.) gipfelt, so gipfelt der „historische Urbau“, d. i. der Inbegriff aller auf die existentia (s. o.) bezüglichen Aussagen schließlich nach dem Gesagten in dem, was wir zusammenfassend über die tatsächliche Verteilung der „Weltlinien“ aussagen können. Es wird damit überwältigend klar, daß gleichberechtigt neben der Frage des allgemeinen Gesetzes, das den Zusammenhang regelt, die Frage der individuellen Gestaltung dieses Zusammenhangs tritt, (die doppelte Kontingenz der Welt). Denn hier erscheint dieses Zweite tatsächlich als „Gestalt“ im eigentlichen geometrischen Sinne, und abermals tauchen aus dem klassischen Altertum die tiefen Gedanken eines Plato vor uns auf: die Welt als Kunstwerk, d. h. als gestaltete Idee! Es scheint nur noch ein kleiner Schritt vom Kunstwerk zum Künstler. Zum mindesten aber ergibt sich die Berechtigung der Frage: Sind die „Einheiten“ der Welt, das Elektron, das Atom, der gewöhnliche Körper, der Weltkörper, das Planetensystem usw. nicht, sub specie der zeitlosen „Geltung“ des

Weltbestandes gesehen, ebenso viele „Individuen" und doch zugleich das niedere immer Teil des höheren, wie im Kunstwerk, beispielsweise der Symphonie, jedes Motiv, jeder Satz usw. eine wohl charakterisierte Einheit und doch integrierender Bestandteil des Ganzen ist.

Vor allem aber ergibt sich eines, was hier nun unmißverständlich ausgesprochen werden muß, daß nämlich Alternativen, wie z. B. die, ob die Welt von Gott geschaffen sei oder ob sie von Ewigkeit her bestehe, vollkommen sinnlos sind. Die in letzterem Teil der Frage vorausgesetzte unendliche Zeit gehört ja selber (vgl. oben) mit zum Objekt, zur Welt. Gibt es also einen Gott, d. h. ist die Welt, wie die Anhänger des Theismus glauben, nicht aus sich selbst da, sondern Tat und Wirkung eines unendlich erhabenen, seiner selbst bewußten Geistes, so ist es völlig gleichgültig, ob die von ihm gesetzte Welt zeitlich endlich oder unendlich oder auch in sich selbst zurücklaufend gedacht wird. Mit jener Fragestellung wird offenbar Gott selbst in die Zeit hineingezogen, die doch erst zugleich mit Raum und Materie durch ihn gesetzt sein soll, was noch viel unsinniger ist, als das Leben und Denken unseres oben S. 152 angenommenen Physikers in die Zeit t hineinzuziehen, von der seine Formeln reden. Hiermit entfallen ohne weiteres solche Doktorfragen, wie die, was Gott vor Erschaffung der Welt tat u. a. m., es entfällt zugleich aber auch die geläufige Vorstellung von der „Ewigkeit" als einer bis ins Unendliche fortgesetzten Zeit. Wir kommen auf diese sowie andere damit zusammenhängende Weltanschauungsfragen am Schluß zurück, wollen aber diese Erörterung jetzt abbrechen und uns die Dinge wieder von dem sicheren Grund der Erfahrung her betrachten, wobei wir freilich nicht vergessen dürfen, daß diese uns nur Ausschnitte liefert, die wir nur in dem vorhin dargelegten Sinne als „isolierte Systeme" betrachten dürfen.

Das größte unseren Sinnen überhaupt erreichbare Objekt ist der Fixsternhimmel. Die möglichst vollständige Erforschung des Aufbaus desselben und der Bewegungen aller einzelnen Teile gegen einander ist das Ziel, dem die Astronomie von heute zustrebt, und dem sie in den letzten Jahrzehnten immerhin ein erhebliches Stückchen näher gekommen ist.

Wir wollen versuchen, im Rahmen einer ganz kurzen Skizze uns die Hauptfortschritte zu vergegenwärtigen, die wir zum größten Teile erst der allerneuesten Wissenschaft verdanken. — Fürs erste kennen wir heute von einer großen Reihe von Fixsternen mehr oder weniger genau ihre Entfernungen von unserem Sonnensystem, nämlich für etwa 100 Sterne,

die nicht mehr als ca. 60—70 Lichtjahre von uns entfernt sind. Der uns nächste Fixstern (α Centauri) ist 4,3 Lichtjahre, d. i. 37 Billionen Kilometer von uns entfernt. Denkt man sich das Sonnensystem so verkleinert, daß es in einem mäßig großen Zimmer von 8 m Durchmesser Platz hat, also Neptun in diesem gerade eben noch an den Wänden entlang könnte, in der Mitte die Sonne als Kugel von der Größe eines dicken Hirsekorns (!), so wäre α Centauri als nächste derartige Sonne immer noch 75 km (!) von diesem Zimmer entfernt, Sirius doppelt so weit, Aldebaran (im Stier) ca. siebenmal, Wega (Leyer) ca. neunmal, der Polarstern (Kleiner Bär) ca. elfmal so weit. Natürlich sind alle solche Angaben um so unsicherer, je größer die Entfernung ist. Über die Größen der Fixsterne wußte man bis vor kurzem nichts Sicheres. Neuerdings hat der amerikanische Astronom Michelson gezeigt, wie man auf Grund von Interferenzmethoden die Durchmesser näherer Fixsterne bestimmen kann. Für α Orionis ergab sich z. B. ein Wert von etwa 300 Sennendurchmessern.

Die wenigen direkten Entfernungsbestimmungen bedeuten natürlich so gut wie nichts gegenüber der ungeheuren Zahl aller Fixsterne. Für diese sind wir lediglich auf die indirekte Methode der Statistik angewiesen, die ein ungefähres Urteil über den Aufbau des Systems erlaubt, sofern man von bestimmten Hypothesen über die Verteilung der Sterne im Raume nach ihrer Helligkeit (Größenklasse) ausgeht. Wir können auf diese Forschungen, die zuerst von W. Herschel in Angriff genommen und neuerdings mit gutem Erfolge besonders von Kapteyn und Seliger fortgesetzt wurden, nicht ausführlicher eingehen. Das Gesamtergebnis ist, daß die uns sichtbaren Fixsterne sehr wahrscheinlich ein linsenförmig abgeplattetes System bilden, dessen größter (äquatorialer) Durchmesser von Seliger zuletzt auf etwa 60 000 Lichtjahre geschätzt wurde, während der kürzeste (polare) Durchmesser etwa den fünften Teil des äquatorialen beträgt. Da wir uns ziemlich in der Mitte des Systems befinden, so erscheint uns dieses gegen den Äquator hin sehr dicht, gegen die Pole hin erheblich dünner mit Sternen besetzt. So erklärt sich die Erscheinung der Milchstraße und die relative Sternenleere in den Richtungen senkrecht zu ihr. Als Gesamtzahl aller Fixsterne erhält man rund 40—50 Millionen.

Wir wissen zweitens heute mit Sicherheit von einer großen Reihe von Fixsternen, daß und mit einiger Genauigkeit auch, wie sie sich bewegen. Der Name „Fixstern" ist also eigentlich nicht mehr angebracht. Auf die erste Entdeckung dieser Art, die Halley 1718 machte, sind bis heute

ungezählte neue derselben Art gefolgt. Es handelt sich dabei natürlich zunächst um die scheinbaren Bewegungen der Sterne am Himmelsgewölbe, die aber noch keineswegs die wirklichen Bewegungen sind (s. Abb. 29): Denn 1. kommt zu dieser Verschiebung, die senkrecht zum Visionsradius (der Richtung nach dem Sterne hin) steht, noch hinzu eine Komponente der Bewegung im Visionsradius, also auf uns zu oder von uns weg, und 2. sind alle diese Bewegungen beeinflußt durch die eigene Bewegung der Sonne. Die erstere ergibt sich auf Grund des sog. Dopplerschen Prinzips durch die Beobachtung des von den Sternen uns zugesandten Lichtes. Fährt ein Schiff auf dem Meere den Wellen entgegen, so bekommt es

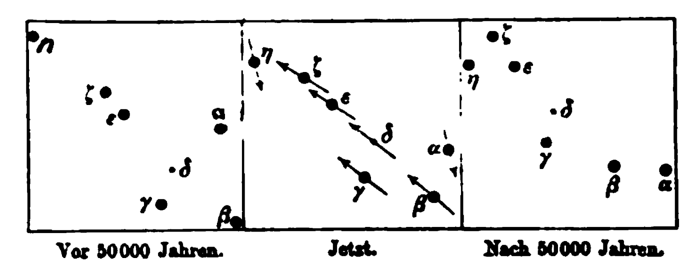


Abb. 29. Der große Bär.

offenbar in einer bestimmten Zeit, z. B. einer Minute, mehr Wellenstöße, als ein ruhig vor Anker liegendes, fährt es dagegen in der Richtung der Wellen, so erhält es weniger Stöße. Das gleiche gilt offenbar für alle Wellenbewegungen, falls Wellenerreger und Beobachter sich aufeinander zu oder voneinander fort bewegen. Daher erscheint uns z. B. der Ton der Hupe eines auf der Landstraße an uns vorbeirasenden Autos vor der Begegnung, während es auf uns zufährt, erheblich höher (oft um einen ganzen Ton) als nachher, wenn es sich von uns entfernt. Denn der scheinbar vergrößerten Schwingungszahl entspricht ein höherer Ton. Optisch entspricht der Schwingungszahl der Lichtwellen die Spektralfarbe (s. S. 98). Bewegt sich deshalb eine Lichtquelle hinreichend rasch auf uns zu, so müssen die Spektrallinien sämtlich nach dem Violetten hin, im entgegengesetzten Falle nach dem Roten hin verschoben erscheinen. Diese Verschiebung ist nun tatsächlich bei zahlreichen Sternspektren wahrzunehmen und zu messen. Aus ihrer Größe läßt sich leicht die Geschwindigkeit berechnen, mit der sich der Stern auf uns zu oder von uns fortbewegt, also die Bewegung im Visionsradius ermitteln. Diese ergibt dann mit der scheinbaren Bewegung senkrecht zum

Visionsradius zusammen nach dem Parallelogrammsatz die wirkliche Bewegung relativ zu uns.

Erheblich schwieriger ist der zweite Punkt, die Herausschälung der Bewegung des Sonnensystems selbst aus all diesen Relativbewegungen. Hier kann folgende Analogie das Wesentliche der Sache verdeutlichen: Gehen wir in einem Walde, so scheinen infolge der perspektivischen Gesetze die vor uns liegenden Baumstämme immer weiter auseinander zu rücken, während ebenso die hinter uns liegenden näher und näher zusammenzurücken scheinen. So würde es nun auch im Sternensystem sein, wenn alle Fixsterne ruhten und nur die Sonne sich in einer bestimmten Richtung unter ihnen bewegte. Das tun sie indessen keineswegs; wollen wir auf Grund jenes Prinzips also die Sonnenbewegung feststellen, so müssen wir versuchen, ob wir eine plausible Annahme über die Eigenbewegungen der Sterne im ganzen zugrunde legen können, um dann aus dieser, zusammengesetzt mit der Bewegung der Sonne, die wirklichen Bewegungen abzuleiten. Die nächstliegende Annahme ist die, daß die Eigenbewegungen auf die Sterne in ähnlicher Weise regellos verteilt seien, wie bei den Molekülen eines Gases. Es ist jedoch unmöglich, durch Zusammensetzung dieser Annahme mit irgendeiner Sonnenbewegung die wirklich vorliegende Verteilung der Bewegungen zu erhalten. Das Ergebnis der ganzen überaus schwierigen Untersuchungen ist vielmehr, daß die wirkliche Verteilung der Eigenbewegungen sich nur dann darstellen läßt, wenn man eine Sonnenbewegung in der Richtung auf das Sternbild der Leyer zu*) zusammensetzt mit einer Art doppelter „Sternentrift", die im allgemeinen sich der Richtung der Milchstraße anschließt. Hieraus folgt, daß das ganze System, von außen hinreichend verkleinert gesehen, etwa den Anblick eines der bekannten Feuerräder oder zweiarmigen sich drehenden Springbrunnen zeigen würde. Denselben Anblick bieten die bekannten großen Spiralnebel am Himmel (z. B. in der Andromeda, im Orion u. a.). Es ist daher überaus wahrscheinlich, daß unser Fixsternsystem ganz ähnlich wie ein solcher Nebel gebaut ist und sich bewegt.

Fraglich dagegen ist einstweilen, ob diese Nebel selbst nun ihrerseits wieder andere ebensolche Fixsternwelten wie unser Milchstraßensystem sind, die aus Entfernungen zu uns herüberleuchten, die vielleicht dann im Verhältnis zu dem Durchmesser unseres Systems (60 000 Lichtjahre s. o.) wieder ebenso viel größer sind wie die Fixsternentfernungen im Verhältnis zu dem Durchmesser unseres Planetensystems (s. o.). Oder aber ob jene Nebel

*) Der Zielpunkt dieser Bewegung wird „Apex" genannt.

selber auch Glieder unseres Systems und gleichzeitig dessen verkleinerte Abbilder in ähnlicher Weise sind, wie etwa Jupiter mit seinen vielen Monden ein verkleinertes Bild des Sonnensystems gibt, zu dem er selbst gehört. Von manchen Nebeln ist es wahrscheinlich, daß sie zu unserem System gehören; andere, so z. B. die oben genannten, werden von vielen Astronomen für unserem System koordinierte ähnliche Systeme gehalten. — Die Fortsetzung der sorgfältigen Beobachtungen wird in einigen Jahrhunderten ein ganz anderes Material zur Lösung vieler der hier nur oberflächlich angedeuteten Fragen bereitgestellt haben, als es uns heute zur Verfügung steht[88].

Wir wenden uns zu kleineren Welteinheiten, den einzelnen Sonnen, speziell unserem Sonnensystem. Auf alle Einzelheiten — Doppelsterne, mehrfache Sterne, Sternenhaufen usw. — können wir nicht eingehen. Das meiste, was wir wissen, verdanken wir der Spektralanalyse, die uns nicht nur Kunde von dem Aggregatzustande des betreffenden Sternes, von seiner Temperatur, seiner chemischen Zusammensetzung, sondern auch noch von vielem anderen gibt. So sei als besonderes Kuriosum erwähnt, daß dem amerikanischen Astronomen Hale der Nachweis gelang, daß die Linien des Sonnenspektrums, wenn man das Spektroskop auf die Nähe von Sonnenflecken richtet, den Zeemann-Effekt zeigen. Hieraus folgt, daß die Sonnenflecken mit starken magnetischen Kraftfeldern verbunden sein müssen, was auch anderweitig schon ziemlich wahrscheinlich war. Überhaupt hat die Sonnenphysik in den letzten Jahrzehnten ganz gewaltige Fortschritte gemacht, so große, daß eigene dickleibige Lehrbücher darüber heute schon zu einem unabweisbaren Bedürfnis geworden sind. Wie leicht dabei auch scheinbar ganz sichere Schlußfolgerungen dem Irrtum ausgesetzt sind, zeigt besonders deutlich der Umschwung, der in den letzten Jahrzehnten in unseren Auffassungen über die Beschaffenheit der Sonne eingetreten ist. Aus Kirchhoffs und Bunsens spektralanalytischen Untersuchungen hatte man fast mit Sicherheit folgern zu können geglaubt, daß die Sonne aus einem glühend flüssigen Kern mit einer gasförmigen Hülle (Photosphäre) bestehe. Nun ist es schon an sich äußerst unwahrscheinlich, daß bei der auf der Sonne herrschenden Temperatur (etwa 6500°) noch irgend welche Stoffe flüssig sein könnten, da vermutlich diese Temperatur die „kritische Temperatur" aller oder doch fast aller Gase übertrifft. (Für jeden Stoff gibt es eine solche kritische Temperatur, oberhalb deren er nur als Gas existieren kann.) Erst recht gilt dies, wenn, wie es wahrscheinlich ist, die Temperatur im Innern noch erheblich größer ist, als auf der Oberfläche,

wo wir sie allein durch Ausmessung der Strahlungskurve (S. 128) bestimmen können. Neuere Untersuchungen vor allem über den Verlauf der Lichtstrahlen in Gasmassen von großer aber ungleicher Dichtigkeit zeigen nun in der Tat, daß der Anschein einer scharfen Grenze zwischen einem (früher für flüssig gehaltenen) „Kern" und einer „Photosphäre" schon durch bloße optische Wirkungen zustande kommen muß (S c h m i d t - J u l i u s sche Sonnentheorie). Diese bei Sonnenfinsternissen wirklich beobachtbare Trennung ist also danach wahrscheinlich nur eine auf dem eigentümlichen Verlauf der Lichtstrahlen im Innern der Sonne beruhende optische Täuschung. In Wahrheit ist die Sonne ein von außen nach innen kontinuierlich (ohne Sprung) an Dichte zunehmender Gasball, dessen äußere Begrenzung jedoch durchaus unregelmäßig ist und fortwährend wechselt (Protuberanzen, Fackeln, Flecke). Näher darauf einzugehen, liegt außerhalb des Rahmens unserer Erörterungen. Alle diese Forschungen sind überdies in vollem Flusse und Problem über Problem taucht auf, an denen die Astrophysik noch auf unabsehbare Zeit zu tun haben wird.

Nicht viel anders steht es mit der Erforschung der einzelnen Glieder unseres Planetensystems, des einzigen Systems derart, das uns wohl jemals in der Beobachtung zugänglich sein wird. Denn so wahrscheinlich es auch ist, daß auch zahllose andere Fixsterne als Sonnen Zentralkörper eines solchen Systems sein werden, so werden wir darüber doch schwerlich jemals etwas Gewisses erfahren. — Trotz der ungeheueren Vervollkommnung der Beobachtungsmethoden, besonders auch der Anwendung photographischer Methoden ist nun bislang weder das Rätsel der Marskanäle, noch das der Saturnringe, noch so manches andere einwandfrei gelöst. Man darf aber über all diesen ungelösten Fragen doch auch hierbei die wirklich schon erreichten Fortschritte nicht vergessen. So darf es z. B. als ziemlich sicher gelten, daß keiner unserer Mitplaneten als Wohnstätte organischen Lebens der uns bekannten Art in Frage kommen kann, mit alleiniger Ausnahme vielleicht des Mars. Aber auch bei diesem ist es sehr fraglich, ob die Bedingungen wenigstens des höheren organischen Lebens dort erfüllt sind, vor allen Dingen, ob die nötigen Mengen W a s s e r dort vorhanden sind. Was man nämlich vielfach als eine unserer nördlichen und südlichen E i s - bedeckung entsprechende „Schneekappe" des Mars aufgefaßt hat, ist vielleicht nicht einmal festes Wasser, sondern feste K o h l e n s ä u r e. Doch wenn es auch wirklicher H_2O-Schnee sein sollte — nach allem, was wir wissen, müssen wir trotzdem die Existenz höheren organischen Lebens auf

unserm Nachbarn als höchst unwahrscheinlich bezeichnen. Seine Temperatur ist bei seiner Kleinheit (er ist nur halb so groß als die Erde) und größeren Entfernung von der Sonne (1½mal so weit) sicher sehr viel niedriger als die Erdtemperatur, man hat sie zu etwa 50—60° unter Null berechnet. Diese tiefe Temperatur wird auch der Grund sein, weshalb die Marsatmosphäre nur Spuren von Wasserdampf enthält. Daß in einer früheren Zeit dort organisches Leben bestanden haben kann, ist sehr wohl denkbar; heute aber ist Mars für solche Dinge wohl zu alt. Höchstens möchten sich noch Reste einer ehemaligen Herrlichkeit an besonders günstigen Stellen erhalten haben. — Die berühmten Kanäle können bei dem Gewicht aller anderen gegen die Bewohnbarkeit sprechenden Gründe nicht ohne weiteres als Zeugnis der Tätigkeit bewußter Wesen gelten. Eine einheitliche Erklärung dieser — übrigens keineswegs immer und von allen Beobachtern identisch gesehenen — Erscheinung steht noch aus. Es hat daher auch keinen Zweck, für den einen oder andern der zahlreichen Erklärungsversuche Partei zu ergreifen.

Wir können die Frage nach der Bewohnbarkeit anderer Weltkörper hier nicht stehen lassen, ohne eines in letzter Zeit unternommenen Versuches zu gedenken, mit Wahrscheinlichkeitsgründen die Erde als den einzigen Körper in unserer gesamten Fixsternwelt zu erweisen, der die zur Entstehung von Menschen nötigen Lebensbedingungen aufweise. Ich meine den Versuch von Wallace, dem bekannten englischen Naturforscher und Freund Darwins. Ausgehend von der Tatsache, daß unser Sonnensystem sich ziemlich in der Mitte des uns als „Milchstraße" sichtbaren Fixsternsystems befindet, sucht Wallace zu zeigen, daß nur in dieser Lage ein Planetensystem bestehen kann, dem eine hinreichend lange Existenz garantiert ist. Er zeigt dann weiter, aus welchen Gründen die Erde wieder unter allen Planeten der einzige bewohnbare ist, und wie gerade auf der Erde in einer ganz einzigartigen Weise alles zusammentrifft, was dem Prozesse der organischen Entwicklung die nötigen Stabilitätsbedingungen auf ungezählte Jahrmillionen hin garantiert. Wir können hier nicht im einzelnen auf Wallaces Darlegungen eingehen. Mehr als Mutmaßungen und Plausibilitätsgründe sind es nicht. Ein wirklicher Beweis dafür, daß nicht in unserer näheren oder entfernteren Nachbarschaft noch beliebig viele andere dem unserigen ähnliche Planetensysteme existieren können, ist ja auch nach Lage der Dinge völlig ausgeschlossen. So kann der ruhige Beurteiler m. E. nur sagen: Wir wissen darüber schlechterdings nichts, gar nichts Positives. Also

[illegible] lassen, ob er sich andere be-
[illegible] umzähligen Sonnen, die wir sehen [illegible] Wallace meint, daß ein ganzes Fix-
[illegible] um auf einem einzigen Planeten [illegible] Entwicklung einer Menschheit mit ihrer [illegible] und geistiger Kultur zu ermöglichen. Ich persönlich gestehe mich grade aus diesem (teleologischen) Gesichtspunkte mit dieser Annahme nicht befreunden zu können, da mir dann doch die Summe der aufgewandten Mittel in allzu schreiendem Mißverhältnis zu dem Zwecke zu stehen scheint: auch dann, wenn man rückhaltlos zugibt, daß die Entwicklung geistigen Lebens, wie wir es an uns selbst kennen, gewiß nicht mit den Maßstäben der Physik gemessen werden darf, sondern ein einziger Newton wohl als wertvoller denn ein ganzes Planetensystem aus bloß „schweren Körpern" gelten darf. Aber wozu denn all diese unendliche Fülle verschiedenartigster Erscheinungen im Weltall? Wozu Doppelsterne und Nebelflecke und Sternhaufen und so fort? Etwa damit die Newtons und Herschels hier auf Erden doch hinreichend vielerlei Objekte für ihre Wißbegierde vorfinden sollten? — Mir erscheint der Gedanke auf jede Weise absurd, wenn diese ganze Welt überhaupt einen Sinn hat, dann diesen Sinn in unserer kleinen Erdgeschichte allein zu suchen, so bestechend auch die Analogie sein mag, die wohl auch Wallaces ursprünglichste Intuition hierbei war: daß es einer Natur, die tausende von Lebenskeimen verschwendet, um einen einzigen davon unter günstigen Bedingungen sich entwickeln zu lassen, wohl auch zuzutrauen sei, daß sie Fixsternwelten verschwendet, um eine einzige Erde mit Menschen darauf hervorzubringen. Das alles aber sind, wie gesagt, reine Geschmacksurteile. Auf jeden Fall ist es aber nicht zu billigen, wenn der wohlüberlegte und in seinen wissenschaftlichen Grundlagen sorgfältig erwogene geozentrische und anthropozentrische Versuch Wallaces als Stütze herhalten muß für den naiven Geozentrismus und Anthropozentrismus derjenigen, die überhaupt noch gar nicht imstande gewesen sind, sich ein wissenschaftlich begründetes Urteil über diese Dinge zu bilden, weil sie von den einfachsten astronomischen Tatsachen noch gar keine Ahnung haben. Das gehört auch zur Kategorie „Mißbrauch der Naturwissenschaft".

Den sehr bedeutenden Fortschritten, die die Wissenschaft des letzten Jahrhunderts in der Erforschung des Bestandes, d. h. der wirklichen gegenwärtigen Verteilung der Weltkörper zu verzeichnen hat, entspricht leider nicht die Einsicht in das W e r d e n dieses ganzen Weltsystems, nicht einmal

in das eines so kleinen Teiles, wie es unser Sonnensystem ist. Die sog. Kant-Laplacesche Theorie (in Wahrheit sind das zwei ziemlich stark abweichende kosmogonische Versuche), die Nebularhypothese, die Meteoritenhypothese und andere Versuche wissenschaftlicher Kosmogonien bezeugen schon durch ihr bloßes Nebeneinander, daß hier von einer wirklichen Erkenntnis, auch nur auf Grund einer mäßigen Wahrscheinlichkeit, keine Rede sein kann.

Am wahrscheinlichsten dürfte alles in allem heute eine etwas geänderte Nebularhypothese sein: Ursprünglicher Gasball in drehender Bewegung, ähnlich wie heute noch die Spiralnebel, Verdichtung um einzelne Zentren (Sonnen) in den einzelnen Teilen wieder Verdichtungen zu Planeten, dabei anfängliches Anwachsen der Temperatur (Siriustyp), dann Wiederabnahme (Sonne, Capella) bis zu bloßer Rotglut (Arktur), sekundär mögen bei der Bildung von Monden auch Abspaltungen aus den bereits gebildeten Zentralkörpern (Laplace) vorgekommen und gelegentlich auch ursprünglich nicht zusammengehörige Körper dadurch zufällig zusammengekommen sein, daß der größere den kleineren vermöge der Gravitation einfing. Diese selbst ist vielleicht nicht eine absolut konstante Eigenschaft der betr. Massen, sondern von dem Zustand abhängig. Außerdem dürfte neben ihr der „Strahlungsdruck" (s. S. 113) eine entscheidende Rolle spielen. Wahrscheinlich wird auch über dies Problem durch die Relativtheorie und die fortgesetzten Forschungen über den Aufbau der Atome neues Licht verbreitet werden. Einstweilen müssen wir uns bei mäßig wahrscheinlichen Teilerkenntnissen und luftigen Hypothesengebäuden bescheiden, womit indes letzteren keineswegs aller Wert abgesprochen werden soll. Man soll sie nur nicht für „Ergebnisse der Wissenschaft" ausgeben[89]. Eines aber ist trotz dieser Unkenntnis doch als Gewinn aus all diesen, sei es auch noch so unzureichenden Versuchen festzustellen: Sie haben die Menschheit, wenigstens die Kulturmenschheit, an den Gedanken einer nüchtern wissenschaftlichen Behandlung auch dieser Dinge gewöhnt. Auch hier heißt es: Exempla docent. Was alle allgemeinen philosophischen Erörterungen über das Kausalitätsprinzip usw. nicht vermocht hätten, das hat die berühmte sog. Kant-Laplacesche Theorie des Sonnensystems geleistet. Sie hat als anschauliches Beispiel wissenschaftlicher Kosmogonie die große Mehrzahl der Gebildeten wenigstens daran gewöhnt, auch den Prozeß des Werdens und Vergehens im Weltall als einen Naturvorgang, wie jeden anderen auch, aufzufassen, der sich nur durch die Großartigkeit seiner Ausdehnung von denjenigen unterscheidet, die sich unter unseren Augen im Laboratorium abspielen. Sie hat die Menschheit

ein großes Stück weiter gebracht auf dem Wege zur Befreiung von jenen Vorstellungen, die man fälschlich so oft als wesentliche Bestandteile der Religion angesehen hat, die aber in Wahrheit nichts als Erbstücke uralten dämonistischen bzw. polytheistischen Aberglaubens und kindlich naiver Naturvergötterung sind. Wir sind auch im gebildeten Europa keineswegs schon ganz frei davon. Es gibt auch unter uns noch immer zahlreiche Menschen, denen es unmöglich ist, den Gedanken konsequent durchzudenken, daß der größte wie der kleinste physikalische Vorgang für die Weltanschauung vollkommen gleichbedeutend sind. Ob nun Metaphysik überhaupt, und ob insbesondere theistische, pantheistische oder atheistische Metaphysik wünschenswert oder notwendig sei, mag hier ganz dahingestellt sein. Soviel aber ist sicher, daß keine Weltanschauung heute noch Anspruch auf Berücksichtigung seitens der wissenschaftlich Geschulten machen kann, die etwa, wie das manche naive Theisten für nötig halten, die Welt im kleinen sich selbst überläßt, aber für die größeren Stücke, etwa die Bildung eines Planetensystems, des göttlichen Regisseurs nicht entraten zu können glaubt. Eine solche halb deistische, halb atheistische Ansicht ist gänzlich zu verbannen*). Ist ein Gott, wie ihn der Theismus fordert, so ist Alles sein Werk, das Atom so gut wie das Fixsternweltall, das Fallen des Regentropfens so gut, wie der Zusammensturz zweier Sonnen. Sieht man dies aber ein, so sollte man auch endlich auf seiten der Verteidiger des christlichen Theismus das Pochen auf unsere Unkenntnis betreffend der Kosmogonie unterlassen, die nicht mehr und nicht weniger beweist, wie irgendein anderes Ignoramus an irgendeiner anderen Stelle auch. Es ist aber bereits zum System geworden, nach allen Lücken und Grenzen des wissenschaftlichen Erkennens zu fahnden, um daraus die Berechtigung oder gar die Notwendigkeit des Theismus herzuleiten, ein für diesen selbst höchst bedenkliches Verfahren, wie hier wohl nicht näher dargelegt zu werden braucht. —

Was für die Kosmogonie im großen Maßstabe des Sonnen- oder gar Fixsternsystems gilt, das gilt erst recht von der Geschichte unseres heimatlichen Planeten. Wir verdanken der Wissenschaft auch hier, von allen speziellen Erkenntnissen abgesehen, zum mindesten das allgemeine Durch-

---

*) Über den Unterschied zwischen Deismus und Theismus und die Eigenart der angeführten Weltanschauungen überhaupt s. u. S. 294.

dringen der Erkenntnis, daß die Erdgeschichte ein Naturvorgang war und ist, der mit naturwissenschaftlichen Mitteln erforscht werden kann und erforscht werden muß. Wir können nun aber hier auch hinzufügen, daß wir in diesem Punkte doch ein ganz erhebliches Stück weiter sind als in jenen allgemeinen kosmogonischen Fragen. Die Anfänge der Erdgeschichte liegen allerdings auch heute noch im Dunkeln. Ob unsere Erde aus der Sonne entstanden ist, oder sich aus derselben spiraligen Gasmasse abgespalten hat, aus deren Rest, nachdem alle Planeten sich gebildet hatten, die Sonne wurde, oder ob noch eine andere Entstehungsweise anzunehmen ist, das alles gehört zu dem bisher ungelösten Problem der Bildung unseres Sonnensystems. Wie dem aber auch sein möge, es ist immerhin sehr wahrscheinlich, daß der Anfangszustand unserer Erde der eines glühenden Gas- oder Flüssigkeitsballs war. S i c h e r ist das freilich auch nicht ganz, denn die sogleich noch zu erwähnende W i e c h e r t sche Hypothese läßt es schließlich auch als denkbar erscheinen, daß die Erde ursprünglich fest und kalt war und sich allmählich von der Rinde aus durch irgendwelche Einflüsse erwärmte, worauf dann wieder eine Abkühlung folgte.

Ehe wir indessen näher auf diese den gegenwärtigen Zustand der Erde betreffende Hypothese eingehen, sei das kurz behandelt, was wir von der Erdgeschichte einigermaßen sicher wissen. Man hat, wie schon oben angedeutet (s. S. 164), früher schon Berechnungen des Alters der Erde auf Grund der Abkühlungs- und Ausstrahlungsgesetze angestellt, die aber alle ziemlich wertlos geworden sind, seit die Entdeckung der Radioaktivität uns mit einer neuen Energiequelle in der Erde selbst bekannt gemacht hat. Dafür haben nun aber die Gesetze der radioaktiven Erscheinungen selbst einen neuen und, wie es scheint, aussichtsreichen Weg zu dem gleichen Ziel eröffnet. Da nämlich gemäß dem oben (S. 116) Ausgeführten aus dem Uran sich im Laufe der radioaktiven Umwandlungen einerseits schließlich wahrscheinlich Blei bildet, während andererseits Helium (α-Teilchen) abgespalten wird, so kann man aus dem Bleigehalt solcher Mineralien, die ursprünglich Uran enthalten, einerseits und aus dem Heliumgehalt andererseits die Zeit berechnen, die zur Bildung der vorhandenen Mengen erforderlich war. Dabei gibt der Heliumgehalt eine untere Grenze (Mindestzeit), der Bleigehalt eine obere (Maximalzeit), weil einerseits Helium entwichen, andererseit Blei anderweitig hineingekommen sein kann[**]. Berechnungen dieser Art sind hauptsächlich von S t r u t t angestellt worden. Vergleicht man sie mit anderweitigen Berechnungen auf Grund der Erosion von Flußtälern,

der Anschwemmungen, der Sedimentbildungen u. a., so erhält man nach Franz[91] etwa folgende Tabelle:

Beginn des	Jahre vor der Gegenwart		
Alluvium	10 000	bis	70 000
Diluvium	300 000	„	500 000
Känozoikum . . .	3 000 000	„	15 000 000
Mesozoikum . . .	7 500 000	„	37 000 000
Paläozoikum . . .	48 000 000	„	240 000 000
Archaikum . . .	200 000 000	„	600 000 000

während das Leben selbst von dem genannten Autor auf ein Alter von 4,8 bis 30 Milliarden Jahre geschätzt wird. Natürlich sind diese Zahlen noch sehr unsicher, sie werden aber doch wohl die Größen*ordnung* etwa ebenso angenähert angeben, wie Loschmidts erste Berechnungen (s. S. 10, 21) die absolute Zahl der Moleküle ungefähr angeben.

Viel besser freilich als über die wirkliche Zeitdauer der einzelnen Epochen unserer Erdgeschichte sind wir orientiert über die bloß relative zeitliche Ordnung der Schichten, aus denen der größte Teil der Erdoberfläche gebildet ist. In dieser Hinsicht hat die ganze geologische Arbeit eines Jahrhunderts ein so sicher gefügtes System herausgestellt, daß daran schwerlich noch wesentliche Änderungen zu erwarten sind, da es die Gewähr seiner Richtigkeit in sich selbst, in dem Zusammenstimmen der einzelnen Teile trägt. Es ist übrigens bemerkenswert, daß auch die nach der oben dargelegten Methode ausgeführten absoluten Altersbestimmungen sich im großen und ganzen durchaus in dies System einfügen. Dies geologische System, die Einteilung in die bekannten vier großen Epochen (archäische, paläozoische, mesozoische, känozoische Formationen) mit ihren Unterabteilungen ist ja heute bereits in alle Schulbücher übergegangen, worin sich vielleicht am deutlichsten zeigt, wie es aus einem Resultat bereits zur *Voraussetzung* aller weiteren geologischen Forschung geworden ist. Und das ist, bei aller Unsicherheit der absoluten Zeitangaben, denn doch auch außer allem Zweifel sichergestellt, daß es sich hierbei auf alle Fälle um Millionen und aber Millionen von Jahren handelt, Zeiträume, gegen die alle menschliche Geschichte ein kurzer Augenblick zu sein scheint. Ob es dann im einzelnen Fall schließlich 10 oder 100 oder 500 Millionen Jahre sind, ist relativ gleichgültig — wenigstens für den, dem es weniger an den naturwissenschaftlichen Ergebnissen selbst, als an ihrer Bedeutung für die allgemeine Weltanschauung liegt. — Ebenso verhältnismäßig gleichgültig ist von diesem Standpunkt aus auch die Frage nach den Ursachen, den treibenden Kräften der geo-

logischen Veränderungen, in der wir ebenfalls heute noch keinen vollen Erfolg erzielt haben. Zu den älteren und an ihrem Teile sicher berechtigten Lehren von der umbildenden Kraft des Wassers, des Windes und des Vulkanismus sind heute noch eine ganze Reihe anderer Hypothesen getreten, die bestimmte Erscheinungen in der Oberflächengestaltung der Erde oder in den Veränderungen der Flora und Fauna erklären sollen (Aufsturz von Meteoren oder sogar ehemaligen Monden, Polschwankungen, „Pendulation" Kontinentalverschiebungen, Welteis u. a. m.). Es ist nicht nötig, diese Dinge hier einzeln durchzugehen, so interessant sie auch sind. Genug, daß der Menschengeist auch hierin bereits geschäftig am Werke ist, die Probleme der Erdgeschichte zu lösen. Es kommt nicht darauf an, wieviel oder wie wenig er in diesem Augenblicke davon gerade schon gelöst hat. Jedenfalls bezweifelt heute niemand mehr, daß es sich dabei überall um an sich erforschbare, wenn auch vielleicht praktisch für uns niemals mehr ganz sicher zu klärende Vorgänge handelt.

Auch hier mag ein kurzes Wort über die Tragweite und das Ziel aller solcher Forschungen am Platze sein. Es ist eine gewiß lobenswerte, aber doch etwas zu weit gehende Bescheidenheit, wenn unsere heutige Naturforschergeneration im großen und ganzen alle ihre Hypothesen nur als „Arbeitshypothesen" angesehen wissen will. Der üble Nachruhm so mancher ehemaligen Welträtsellöser schreckt offenbar heute zahlreiche, wirklich Sachkundige ab, und läßt sie alles vermeiden, was irgendwie nach allzu großen Ansprüchen aussehen könnte. Ohne es zu wollen, leisten sie aber so der oben genügend gekennzeichneten Verschiebung der gesamten wissenschaftlichen Fragestellung Vorschub, die aus einer unsicheren Vermutung plötzlich etwas total anderes, nämlich ein bloßes Bild oder Modell zur „denkökonomischen" Darstellung der Beobachtungstatsachen machen will.

So ergeht es auch dem Autor derjenigen Hypothese, die wir nun kurz zu erwähnen haben, dem Göttinger Geophysiker W i e c h e r t mit seiner Hypothese über die B e s c h a f f e n h e i t d e s E r d i n n e r e n (1897). Nach dieser Hypothese bestände die Erde nicht, wie bisher fast allgemein angenommen, aus einem feuerflüssigen Kern mit fester Kruste, sondern aus einem festen Kern, darum einer Hülle, die Magma, d. i. feuerflüssige Substanz enthält, und darüber der festen Kruste, im ganzen also mindestens aus d r e i verschiedenen Schichten. Wiechert selbst bezeichnet diese Hypothese grundsätzlich als „Arbeitshypothese", d. h. als Annahme, auf Grund deren man weitere Beobachtungen anstellen soll, die also in erster

Linie einen h e u r i s t i s c h e n Wert haben soll. Nun sind in der Tat die gleich noch zu erwähnenden Beobachtungen, die zu dieser Hypothese geführt haben, keineswegs ausreichend, um sie als eine auch nur wahrscheinliche Vermutung zu bezeichnen. Sie zum Dogma zu erheben wäre also das Verkehrteste, was die Wissenschaft tun könnte. Trotzdem geht es nun aber doch nicht an, ihr einfach jeden Realitätscharakter abzusprechen. Denn schließlich bleibt es doch nun einmal das Problem der Geophysik, die Beschaffenheit des Erdkörpers im Innern zu ergründen, und da der Weg dazu nur ein sehr langer indirekter sein kann, so muß man eben jede derartige Hypothese doch auch als einen m ö g l i c h e n Fortschritt zur Lösung dieses Problems begrüßen. Schließlich ist es doch entweder so, oder doch ungefähr so, oder es ist nicht so, wie die Hypothese annimmt — und dies zu entscheiden ist das eigentliche Ziel der Forschung. Wir können uns davon durch alle Einsicht in die bisherige und vielleicht dauernde Unzulänglichkeit der Forschungsmittel nicht abbringen lassen. Und daß es sich hier nur um sehr indirekte Schlüsse handeln kann, ist erst recht kein Grund, die Frage anders zu stellen. Denn, wie wir oben sahen, sind schließlich alle unsere Erkenntnisse ein Gewebe aus Beobachtungsdaten und Schlüssen, auch die sog. sicheren Tatsachen. Die Moleküle und ihre Bewegung und die elektromagnetische Natur der Lichtstrahlen sind auch durch indirekte Schlüsse gefunden. So wollen wir uns denn trotz Wiecherts bescheidener Zurückhaltung die Freude daran nicht verkümmern lassen, daß wir durch seine Hypothese v i e l l e i c h t, wenn auch nicht sicher, doch einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis der wirklichen Beschaffenheit des Erdinnern erzielen werden. Vorläufig ist das freilich eine Freude, bei der Enttäuschungen noch keineswegs ausgeschlossen sind.

Zu den Gründen, die zu der Aufstellung der Wiechertschen Hypothese führten, sind in erster Linie die Beobachtungen über den Verlauf der E r d b e b e n - w e l l e n im Erdkörper zu rechnen. Erst seitdem die ganze Erde mit Erdbebenwarten (seismographischen Instituten) einigermaßen vollständig überzogen ist, waren genauere Untersuchungen über die zeitliche Ausbreitung der Erdbebenstöße möglich, die im allgemeinen nach den Gesetzen der e l a s t i s c h e n Erschütterungen vor sich gehen muß. Es zeigte sich nun aber, daß der wirkliche Verlauf der Wellen auf Grund der Formeln der Elastizitätstheorie nicht zu beschreiben ist, wenn man an der Annahme e i n e r festen Erdkruste auf flüssigem Kerne festhält, daß dagegen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Formeln und tatsächlichem zeitlichen Verlauf der Störungen möglich wird, wenn man die Wiechertsche Annahme macht. Die Messungen der Erdbebenwarten gestatten dann auch einen Rückschluß auf die Tiefen, in der die Grenzen zwischen den drei

Schichten ungefähr liegen, sowie ferner auf die Dichtigkeit des innersten Kernes. Für diesen ergibt sich merkwürdigerweise die Dichtigkeit ca. 7—8, das ist gerade die Dichtigkeit des Eisens. Dies fügt sich nun merkwürdig gut mit einer Reihe anderer Beobachtungstatsachen zusammen, vor allem der, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,4 so erheblich größer ist als die ihrer äußeren Gesteinskruste, die nur im Durchschnitt 2—3 beträgt. Dies läßt allein schon auf einen Kern von etwa der Dichte 6—8 schließen, dieser Schluß ist auch schon vor Wiechert öfters gezogen worden. Ferner stimmt nun hierzu der in dem Sonnenspektrum sich zeigende außerordentliche Eisenreichtum der Sonne, sowie der Umstand, daß die meisten Meteoriten aus fast reinem Eisen bestehen. Endlich fügen sich auch gewisse magnetische Tatsachen sehr gut, auch zahlenmäßig, in dies Bild ein.

Bei alledem wäre es doch wohl verfrüht, von einer Wahrscheinlichkeit der Hypothese schon jetzt zu reden, dafür ist das Problem doch zu schwierig und die Beobachtungsdaten noch zu geringfügig. Man wird aber weiter in dieser Richtung forschen und voraussichtlich auch mit Hilfe elektrischer Wellen im Erdkörper noch wesentliche neue Resultate gewinnen können; somit dürfte es doch nicht als aussichtslos bezeichnet werden, daß wir auf dem von Wiechert bisher mit so glücklichem Erfolg eingeschlagenen Wege doch einmal ans Ziel kommen.

Ich kann mir nicht versagen, hierbei noch auf einen die Unhaltbarkeit einer grundsätzlichen Unterscheidung zwischen sog. „direkter Beobachtung“ und „indirekten Schlüssen“ aufs deutlichste zeigenden Punkt aufmerksam zu machen. Stellen wir uns einmal vor, es gelinge der nächsten Physikergeneration, elektrische Wellen ins Innere des Erdkörpers bis zu beliebiger Tiefe hineinzusenden, sie dort an Grenzschichten reflektieren zu lassen usw., mit einem Worte, alle Veränderungen messend zu verfolgen, die die Teile des Erdinnern an diesen Wellen hervorrufen. Aus diesen Messungen würde dann mit großer Sicherheit eine ganze Menge von Schlüssen über die Beschaffenheit des Innern gezogen werden können. Die unverbesserlichen Skeptiker werden nun sagen: Schön, aber das alles sind doch dann und bleiben immer indirekte Schlüsse. Niemand wird doch jemals das Erdinnere wirklich zu „sehen“ bekommen. — Wirklich? Aber vielleicht sagt uns der Skeptiker, worin denn der große Unterschied besteht zwischen den elektrischen Wellen, die unsere Apparate affizieren und den Lichtwellen, die unser Auge affizieren? Wenn ich dort ein „Stück Eisen sehe“, ist das etwas anderes im Grunde genommen, als daß elektrische Wellen an einem Stück Materie auf bestimmte Weise reflektiert werden und dann

einen gewissen Empfangsapparat und durch ihn vermittels einer Reihe Zwischenglieder schließlich mein Gehirn erregen? Ist es nicht gleichgültig, ob dieser Empfangsapparat nun das einfache Auge ist oder das mit einer Reihe vorgeschalteter Apparate „bewaffnete“ Auge? Spielen nicht in unserem Falle der etwaige Detektor des Empfängers der elektrischen Wellen und der zugehörige Registrierapparat im Grunde ganz dieselbe Rolle wie Mikroskop oder Fernrohr? — Man sieht, es kommt immer jede solche Überlegung wieder darauf hinaus, daß wir durch nichts, als durch die naivste Gewohnheits-Erkenntnistheorie dazu kommen, den sog. unmittelbaren Gesichts- oder auch Gehörs- und Tasteindrücken einen Vorzug vor den angeblich nur mittelbaren einzuräumen (vgl. S. 24), also nicht eher an die Wirklichkeit einer Sache glauben zu wollen, ehe man sie nicht „direkt gesehen“ hat. Das ganze System der Wissenschaft ist vielmehr ein einziges Zeugnis dafür, daß es sich im Grunde genommen bei aller Erkenntnis um nichts anderes handelt, als um „die Erweiterung unserer Sinne[32]“ auf Grund von richtigen Schlüssen des Verstandes. (Was dabei als „richtig“ zu gelten hat, ist oben S. 26 dargelegt.)

Eine weitere wichtige moderne Korrektur unserer bisherigen Anschauungen über das Inventar unserer Mutter Erde verdient ebenfalls noch besondere Hervorhebung. Das ist die neuere Ansicht über die Zusammensetzung unserer Atmosphäre, die wir auf Grund hauptsächlich der wissenschaftlichen Ballonaufstiege gewonnen haben, wie sie durch Assmann und seine Schüler in erster Linie ins Werk gesetzt sind. Es hat sich nämlich — unter Berücksichtigung der sich aus der kinetischen Gastheorie ergebenden Konsequenzen — herausgestellt, daß sehr wahrscheinlich unsere Atmosphäre nicht bis in die höchsten Höhen hinein ziemlich dieselbe Zusammensetzung hat, wie unten an der Erdoberfläche (nämlich ca. $^4/_5$ N, $^1/_5$ O, einige Prozentbruchteile CO_2, H_2O, A, Ne u. a.). Vielmehr scheinen mindestens drei, vielleicht sogar vier ziemlich scharf voneinander abgegrenzte Schichten oder „Sphären“ zu existieren. Nur in der untersten Schicht, in der sich alle gewöhnlichen meteorologischen Vorgänge: Regen, Hagel, Gewitter usw. abspielen, herrscht die angegebene Zusammensetzung, doch nimmt nach oben hin der Sauerstoff ab, der Stickstoff zu. Dann folgt, ziemlich scharf abgegrenzt, d. h. mit relativ recht dünner Übergangsschicht eine Sphäre, in der der Stickstoff fast ausschließlich dominiert, neben dem fast gar kein Sauerstoff, dafür aber nach oben hin mehr und mehr Wasserstoff sich findet. Diese Sphäre ist nicht sehr dick, dann aber folgt nach einer neuen ziemlich dünnen Übergangsschicht eine Sphäre von großer Mächtigkeit, in der fast ausschließlich der Wasserstoff herrscht, vielleicht dann oberhalb desselben noch eine vierte Schicht, die aus einem hypothetischen Elemente bestehen soll, das noch leichter wäre als H, und das man auf Grund der Spektralanalyse in der Sonnenatmosphäre (Corona) annimmt („Coro-

nium"). A. Wegener hat das Hauptverdienst an der Aufklärung dieser Verhältnisse, die allerdings nur zum Teil auf direkten Beobachtungen beruhen, zum andern Teil auf Grund der Gastheorie vermutet werden. Direkt festgestellt ist nur die Grenze zwischen den beiden unteren Sphären durch die Ergebnisse der Aufstiege von unbemannten Registrierballons. Nach Heaviside nimmt man ferner an, daß etwa in der Gegend der Grenze zwischen Stickstoff- und Wasserstoffsphäre eine stärker leitende (ionisierte) Luftschicht sich befindet, da sich so am einfachsten gewisse bei der drahtlosen Telegraphie beobachtete Erscheinungen der Ausbreitung elektrischer Wellen erklären.

Von der nächsten Zukunft werden wir wohl noch allerlei Aufklärungen über diese Dinge ebenso wie über das Innere der Erde erwarten dürfen.

Es wird dann hoffentlich auch ein Fortschritt dadurch in der speziellen Meteorologie erzielt werden, die ja leider immer noch an Genauigkeit ihrer Wetterprognosen viel zu wünschen übrig läßt und darin kundgibt, daß sie den letzten Ursachen der Wettererscheinungen noch nicht nahe genug und auch nicht in genügender Vollständigkeit auf den Leib gerückt ist. Man kann ja überhaupt im Zweifel sein, ob es jemals gelingen wird, diese so unendlich verwickelten und durch jede Einzelheit der Erdoberfläche sich mit verändernden Vorgänge wirklich zu übersehen; von einer astronomischen Genauigkeit der Berechnungen wird sicherlich niemals die Rede sein können. Wir werden zufrieden sein müssen, wenn es uns gelingt, eine Reihe größerer und allgemeinerer Gesetze aus der Fülle dieser Erscheinungen herauszuschälen und so vielleicht im gröberen Maßstabe wenigstens die Witterungsverhältnisse auch auf längere Zeiten im voraus berechnen zu können. Was bis jetzt gefunden ist, ist nicht viel und doch auch nicht wenig. Es kommt eben auch hier darauf an, von welchen Forderungen man dabei ausgeht. — Doch das bedarf keiner erneuten Auseinandersetzung. Wohl aber mag es angebracht sein, darauf ausdrücklich hinzuweisen, wie weit wir doch auch durch das Wenige, was denn bisher von den meteorologischen Vorgängen wirklich erkannt ist, uns entfernt haben von jenem alten kindlich naiven Standpunkt der Naturvergötterung, der in den Wettererscheinungen mehr wie in allem anderen die direkten Ausflüsse übernatürlicher Gewalten erblickt. Die Gründe dafür sind ja leicht zu finden, einmal in der scheinbar so gänzlich allem Gesetz und aller Regel Hohn sprechenden „Launenhaftigkeit" des Wetters, die unmittelbar den Eindruck willkürlicher Handlungen macht; zweitens in der Gewalt und zerstörenden Kraft so vieler Wettererscheinungen, und drittens in der unmittelbaren Beziehung, die zwischen dem Wetter und dem Nutzen und Schaden des Menschen, vor allem

des Ackerbauers besteht. — Wir wissen heute, daß, was uns als Willkür erscheint, in Wahrheit nur eine Folge der ungeheuerlichen Verwickeltheit der meteorologischen Vorgänge ist, die von so vielen verschiedenen Faktoren, der Bestrahlung, der Beschaffenheit der Erdoberfläche, den Meeres- und Luftströmungen, elektrischen und magnetischen Kräften usw. usw. abhängen. Wir erkennen im Blitz nicht den Hammer Donars oder den Feuerstrahl, aus Jovis Hand geschleudert, sondern einen elektrischen Entladungsschlag, und wir wissen heute alle, daß zwischen den meteorologischen Vorgängen und unserem Nutzen und Schaden keine andere Beziehung besteht, als etwa die zwischen den Insekten und Vögeln einerseits und den Leuchtfeuern andererseits, an denen sie sich die Köpfe einrennen und die Flügel versengen. Es mag freilich noch geraume Zeit vergehen, ehe gerade in diesem Punkte auch nur die europäische Menschheit wirklich endgültig die Fesseln überlieferter und von Kindheit an eingewurzelter Vorurteile abstreift. Soll es doch auch im Kometenjahr 1910 sogar unter den angeblich „Aufgeklärten“ nicht wenige gegeben haben, die angstvoll kommendem ungewissem Unheil entgegensahen. So dürfen wir uns weder wundern, noch darüber ärgern, wenn in weiten Kreisen auch im gebildeten Mitteleuropa gerade dem Wetter noch eine ganz besondere Ausnahmestellung in bezug auf das religiöse Gefühl eingeräumt wird. Ich selbst kenne nicht wenige gute Christen, die es beinahe für eine Sünde halten, von Minimum und Isobaren von Hygrometerangaben und Windregeln zu reden, geschweige denn solches gottlose Zeug selbst zu bearbeiten. Dabei bedenken sie natürlich nicht, daß sie, wenn sie bei drohendem Gewitter den Regenschirm mitnehmen, im Grunde ganz dasselbe tun, nämlich eine der von ihnen so verpönten Wetterprognosen aufstellen, nur mit dem Unterschiede, daß sie sich in Ermangelung eines Besseren mit ein paar Stunden begnügen, während die Wissenschaft ein paar Tage in den Kreis ihrer Berechnungen zu ziehen sucht und natürlich auch ein dementsprechend vergrößertes Beobachtungsfeld gebraucht. — Die grundsätzliche Stellung zu diesem wie zu allen ähnlichen Fällen ist ja dem konsequenten Denken ganz unzweifelhaft, daß es nämlich nur heißen kann: Alles oder nichts. Will jemand in den Naturvorgängen seine theistische oder pantheistische Gottheit finden, so kann es dafür, wie schon S. 194 gesagt, völlig gleichgültig sein, ob es sich um einen den Berg herabrollenden Stein oder um ein Planetensystem, um das Sieden des Wassers in einem Teekessel oder um Wolken, Regen, Schnee und Hagel handelt, ob ein schon längst drohender Felsbruch ein paar unvorsichtig gebaute Almhütten oder

ein Erdbeben eine ganze Stadt hinwegrafft. Das eine wie das andere, das Kleinste wie das Größte sind Naturvorgänge, die ihre bestimmte Stelle im Lauf des sich abwickelnden Systems einnehmen. Will jemand in demjenigen Anteil, der ihn persönlich betrifft, oder in größeren Anteilen, die einen größeren Teil der Menschheit betreffen, „Führungen" seines Gottes erkennen, so ist das eine Frage, über die sich in anderem Zusammenhange reden läßt. Er muß dann aber konsequent sein und ebenso auch in dem Splitter, der ihm ins Auge fliegt, oder dem Steinchen, das ihn im Schuh drückt, ja in jedem Atom seiner Nahrung und seines Leibes seinen Gott in ganz derselben Weise suchen. Es geht nicht an, das eine als natürlich und das andere als übernatürlich anzusehen, dem einen eine religiöse Bewertung vor allem anderen zu geben, und es damit aus dem Zusammenhang mit dem Übrigen herauszuheben, das man als gleichgültig ansieht. Wenn der primitive Mensch durch einzelne besondere Dinge oder Ereignisse zur Ahnung eines Göttlichen gelangt, so ziemt es dem Einsichtigen, diese Bindung an das einzelne abzustreifen und vielmehr gerade umgekehrt sich von der staunenden Bewunderung des Ganzen aus, in der sicherlich Theisten und Atheisten ganz einig sind, zur Höhe des religiösen Gefühls zu erheben, — sofern er das innere Bedürfnis dazu verspürt. Die Welt, physikalisch-chemisch genommen, ist eine geschlossene Einheit, und muß in allen ihren Teilen und Vorgängen prinzipiell unter den gleichen Gesichtspunkten betrachtet werden. In die Weltanschauung kann daher grundsätzlich die physikalisch-chemische Welt nur als Ganzes eingehen.

— — —

III. Materie und Leben.

Bei allen unseren bisherigen Erörterungen haben wir das Wort „Welt“ ausdrücklich immer mit dem Zusatz: physikalisch-chemisch näher bestimmt, es also offen gelassen, ob derjenige allgemeine Bestand, den die Physik und Chemie und die besonderen Gestaltungen desselben, welche Astronomie, Geologie usw. zu ermitteln die Aufgabe haben, das einzige ist, was an der Welt, der Wirklichkeit letzten Endes zu finden ist. Der nächste Augenschein spricht jedenfalls gegen diese Ansicht. Vor uns steht eine Fülle dessen, was da kreucht und fleugt, was grünt und blüht, was heimlich im Verborgenen schmarotzt, was sich fortpflanzt „ein jedes nach seiner Art“, was auf die Einflüsse der Außenwelt mit offensichtlich zweckentsprechenden Bewegungen antwortet, und was sicherlich in seinen höchsten Vertretern, den höheren Tieren und Menschen, vielleicht aber immer und in allen Gestalten empfindet, will, fühlt und denkt, also ein psychisches Erleben kennt, dem, wie es scheint, die ganze physikalische Welt nichts Ähnliches zur Seite zu stellen hat. Das ist das Leben. Ist das nun wirklich eine neue andersartige Erscheinung, unvergleichbar dem bloß Physikalischen? Oder ist diese Eigenart des Lebens nur ein Schein, handelt es sich im Grunde doch wieder um dieselben Elemente der Wirklichkeit nur in ganz besonderer neuer Kombination? Das ist die Grundfrage, die unweigerlich dem Naturforscher auftaucht und der Gegenstand eines nun schon mehrhundertjährigen Kampfes zwischen den Naturphilosophen, der heute heftiger denn je zuvor entbrannt ist. Vitalismus nennt man die Behauptung der Eigenart, der Sondergesetzlichkeit des Lebens, das Gegenteil etwas ungenau Mechanismus. Dieser letztere Name erklärt sich aus der heute nicht mehr haltbaren Gleichsetzung des Mechanischen mit dem Physikalisch-Chemischen überhaupt (s. S. 62, 162).

Ehe wir in eine Erörterung des Lebensproblems oder der Lebensprobleme eintreten, wird es gut sein, sich über die Art des Vorgehens zu verständigen.

Die Mechanisten pflegen oft die Notwendigkeit einer physikalisch-chemischen Erklärung der Lebenserscheinungen durch den Hinweis auf das Kausalitätsprinzip zu begründen. Sie versuchen nachzuweisen, daß Vitalismus gleichbedeutend mit Wunderglaube und mystischer Naturerklärung, demnach in Wahrheit gar keine richtige Naturerklärung sei. — Umgekehrt versuchen die Vitalisten, ausgehend von den seelischen Erscheinungen zunächst die Unzulänglichkeit des bloß Physikalisch-Chemischen diesen gegenüber darzutun, um dann von da aus weiter zu schließen, daß der Mechanismus gegenüber den Lebenserscheinungen überhaupt versage. Wir werden auf beide Gedankengänge an passender Stelle ausführlich einzugehen haben. Da aber die ganze Geschichte der Wissenschaft ein einmütiges Zeugnis dafür ist, daß mit allen solchen allgemeinen Beweisführungen, selbst wenn in ihnen die Wahrheit steckt, doch ein dauerhafter Entscheid in naturwissenschaftlichen Fragen nicht zu erreichen ist, so dürfen wir uns mit diesen beiden Gedankengängen nicht begnügen, müssen vielmehr der Hauptsache nach das Problem so anfassen, wie es sich uns in der direkten Erfahrung unabhängig von allen Theorien darbietet, müssen, mit anderen Worten, die Lebenserscheinungen selbst sine ira et cum studio daraufhin untersuchen, ob sich in ihnen nur Physikalisches oder noch mehr als das darbietet. Dies wird am einfachsten zu erreichen sein, wenn wir uns möglichst klar das Wesentlichste vergegenwärtigen, was die Physik und Chemie bisher in bezug auf das Lebensproblem geleistet haben, und was sie von da aus berechnet, in Zukunft voraussichtlich noch leisten können. Sollte sich aber dabei herausstellen, daß sich die Tragweite der physikalisch-chemischen Gesetze vorläufig noch nicht sicher abschätzen läßt, so wäre das auch ein Ergbenis, das der Mühe wert war. Denn wir sind dann in die klare Notwendigkeit versetzt, ein vorläufiges Non liquet auszusprechen, und deshalb dann weiter zuzusehen, ob wir unsere Weltanschauung nicht von der Entscheidung dieser Fragen einstweilen unabhängig gestalten können. — Wir beginnen daher mit einer kurzen Darlegung der

Physikalisch-chemischen Grundbedingungen des Lebens.

Vom speziell physikalischen Standpunkt aus ist freilich nicht viel zu sagen. Was wir in den Organismen an physikalischen Erscheinungen im engeren Sinne finden, etwa die Hebelwirkungen der Knochen, die optischen Einrichtungen des Auges, die elektrischen Organe des Zitteraals usw.,

das trägt im großen und ganzen mehr den Charakter ziemlich äußerlicher, den Lebensprozeß selbst weniger berührender Vorbedingungen. Von größerer Bedeutung sind nur diejenigen physikalischen Gesetze, welche für Gegenstände in kleinerer Ausdehnung gelten oder sich direkt mit Molekularwirkungen befassen, so z. B. die Gesetze der Diffusion und Osmose, der Elastizität und Festigkeit u. a. m. Doch bleibt ein Eingehen auf alle diese Dinge hier deshalb außer Betracht, weil wir damit doch dem eigentlichen Lebensproblem nicht viel näher kommen würden. Von der allergrößten Bedeutung dagegen für das Verständnis des Lebensvorganges sind die chemischen Erscheinungen (im weitesten Sinne des Wortes). Die organische Chemie insbesondere (s. o. S. 11) ist die unbedingt erforderliche Vorstufe der Erkenntnis in der Biologie. Der Lebensprozeß ist ohne allen Zweifel direkt als ein außerordentlich verwickelter chemischer Prozeß anzusehen. Ob er noch mehr als das ist, steht auf einem anderen Blatt, daß er es aber sicherlich auch ist, ist ebenso unbezweifelbar, wie daß ein Symphoniekonzert ein äußerst verwickeltes System akustischer Vorgänge ist, womit ja auch nicht gesagt ist, daß es nicht noch etwas anderes als bloß das ist.

Als erstes müssen wir feststellen, daß wir das Leben nur kennen an ganz bestimmten chemischen Verbindungen, die im wesentlichen aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, daneben Schwefel und Phosphor bestehen. Außer diesen 6 Elementen finden sich im Organismus noch Eisen, Magnesium, Kalium, Natrium, Calcium, Chlor, Fluor und Silizium, vereinzelt auch andere, wie Jod, Brom, Aluminium u. a. Unter den zahllosen organischen Verbindungen, die den lebenden Organismus zusammensetzen, unterscheidet man seit alter Zeit bestimmte besonders wichtige Gruppen, so die Fette, Kohlehydrate, Eiweißstoffe (Proteïne), neuerdings auch noch Vitamine u. a. Wie die eigentlich lebendige Substanz, das „Protoplasma" (protos = erster, plasma = Bildungsstoff) sich chemisch zu diesen verhält, ist eine noch wenig geklärte Frage. Jedenfalls bilden Eiweißstoffe oder doch Verbindungen von Eiweißmolekülen mit anderen Molekülen die Hauptmenge des Protoplasmas[93], das aber außerdem zweifellos noch zahlreiche andere Stoffe enthält und sehr wahrscheinlich überhaupt ein in fortdauerndem Wechsel begriffenes chemisches System darstellt, in welchem unaufhörlich Moleküle zerfallen und sich neu bilden. Hierdurch ist es auch verständlich, daß ein solches verwickeltes System im allgemeinen gegen äußere Einflüsse (chemische Reize, Temperatur) sehr empfindlich ist, so daß das Leben insbesondere in Rücksicht auf die Temperatur auf ein

ziemlich enges Intervall beschränkt ist. Nach unten hin liegt die zulässige Grenze bei manchen niederen Lebewesen allerdings sehr tief. Man hat Bakterien und Pilzsporen tagelang in flüssiger Luft (bei — 190°) eingefroren gehalten, ohne daß sie ihre Lebensfähigkeit einbüßten. Ganz neuerdings hat G. R a h m festgestellt, daß im Moos lebende Tierchen (Bärtierchen, Rädertierchen u. a.) in ausgetrocknetem Zustande mehrere Tage lang bei der Temperatur des flüssigen Heliums (— 269°) am Leben blieben. Nach oben hin liegt die Grenze für ein aktives Leben sicher unter der Siedetemperatur des Wassers. Man kennt Algen, die in heißen Quellen bei Temperaturen bis zu 93° leben. Gewisse Dauerformen (latentes Leben), wie z. B. manche Samenkörner, Pilzsporen u. a. ertragen aber sogar noch längere Erhitzung auf 120° und mehr. Solche, wie z. B. der Heubazillus, entgehen daher ausnahmsweise auch der Vernichtung bei dem gebräuchlichen Verfahren der „Sterilisierung" durch Kochen, das im übrigen aber stets zum Ziele der völligen Keimfreiheit (Sterilität) führt.

Der Grund für diese Tatsache liegt wohl darin, daß die Plasmasubstanzen in ihren wässerigen (kolloidalen) Lösungen bei diesen Temperaturen nicht bestehen können.

Der chemische Stoffumsatz beim Lebensprozeß, der S t o f f w e c h s e l, besteht im wesentlichen aus einem Hin und Her, das man durch die Wörter A s s i m i l a t i o n*) und D i s s i m i l a t i o n bezeichnet. Unter Assimilation wird heute der Aufbau verwickelterer Moleküle aus einfacheren, unter Dissimilation der Abbau der verwickelten zu einfacheren verstanden. Im ganzen kann man sagen, daß in der pflanzlichen Welt die Assimilation, in der tierischen die Dissimilation vorwiegt, aber keineswegs ist dies ausschließlich zu fassen. Jedenfalls sind die Tiere darauf angewiesen, die verwickelteren Stoffe, welche die Pflanzen aufgebaut haben, als Nahrung aufzunehmen. Ohne die Vorarbeit der Pflanzen könnten keine Tiere existieren, wohl aber (in gewissen Grenzen) umgekehrt.

Der chemische Prozeß im Tierkörper kommt — ganz im groben zunächst gesprochen — auf eine Oxydation (Verbrennung) hinaus. Hierbei wird aus dem Kohlenstoff der verbrannten Stoffe CO_2 (Kohlensäure), aus dem Wasserstoff H_2O (Wasser), während der Stickstoff in Gestalt relativ einfacher Verbindungen (Ammoniak, Harnstoff, Harnsäure u. a.) ausgeschieden wird. Da die Assimilation im Pflanzenkörper das Gegenteil dieses Oxydationsvorganges vorstellen muß, so

*) Wörtlich: Ähnlich machen, Angliedern = Hereinziehen in den Kreislauf des Lebens.

muß es sich dabei also wesentlich um eine Reduktion, eine Entziehung von Sauerstoff handeln. Dies gilt jedoch nur für die Assimilation des Kohlenstoffs, den wichtigsten Teil der pflanzlichen Assimilation. Auf eine unten noch näher zu erörternde Weise wird in den grünen Pflanzenteilen die Kohlensäure der Luft reduziert, d. h. in C und O_2 gespalten, und indem zugleich Wasser, das die Wurzeln geliefert haben, hinzutritt, entstehen Stoffe, die nach ihrer Molekularzusammensetzung scheinbar aus Kohlenstoff und Wasser H_2O bestehen, die sogen. Kohlehydrate. In Formeln:

$$CO_2 \longrightarrow C + O_2 \longrightarrow \text{(entweicht in die Luft)}$$

$$C + H_2O \longrightarrow \text{Kohlehydrate z. B. Zucker } C_6\, H_{12}\, O_6.$$

Diese Formeln sind indes rein schematisch aufzufassen. In Wahrheit wird selbstredend nicht erst freier Kohlenstoff gebildet und dieser mit Wasser verbunden, sondern der Prozeß verläuft ganz anders. Nach der heute allgemein angenommenen Anschauung entsteht zuerst aus der Kohlensäure der sog. Formaldehyd*) CH_2O, der als einfachstes „Kohlehydrat" bezeichnet werden kann, dieser aber verwandelt sich durch Zusammenfügung seiner Moleküle zu größeren Verbänden sogleich weiter in die anderen Kohlehydrate (Zucker, Dextrin, Stärke u. a.). — Festzuhalten ist jedoch, daß bei dem Prozeß Sauerstoff frei wird (den dann nachher die Tiere wieder einatmen).

Die übrigen Elemente, vor allem auch den Stickstoff entnehmen die Pflanzen in Gestalt löslicher Verbindungen (Nährsalze) dem Boden. Während man aber früher meist annahm, daß diese Verbindungen durch Angliederung an bereits gebildete Kohlenhydrate und deren Abkömmlinge assimiliert würden, ist für den Stickstoff wenigstens und damit für die Bildung der Eiweißstoffe neuerdings eine direkte Assimilation, die von Anfang an parallel der Kohlenhydratbildung hergeht, wahrscheinlich geworden. Es würden sich dann also aus dem Kohlendioxyd CO_2, dem Wasser und etwa dem aus dem Boden direkt aufgenommenen Ammoniak NH_3 sogleich einfache organische Stickstoffverbindungen, wie z. B. Formamid $HCONH_2$ u. ä. bilden. Doch sind alle diese Forschungen noch in vollem Fluß.

Die verwickelten Prozesse, welche die mit der Nahrung aufgenommenen pflanzlichen Stoffe im Tierkörper durchmachen, können wir hier nicht einzeln verfolgen; es ist auch erst ein kleiner Teil davon wirklich erforscht. Im ganzen läuft es, wie schon gesagt, auf einen Abbau der komplizierteren Moleküle unter Oxydation hinaus. Jedoch findet zwischendurch ein oft mehrfacher Wechsel zwischen Abbau und Wiederaufbau zu anderen Stoffen statt. Der Tierkörper zerlegt sozusagen die ihm in der Nahrung gelieferten Moleküle erst in so kleine Bruchstücke, daß er daraus die ihm eigentümlichen

*) Die 40prozentige Lösung desselben ist im Handel als Desinfektionsmittel unter dem Namen „Formalin" erhältlich. Auch „Forman"-Schnupfenwatte und „Formaminttabletten" verdanken ihm ihre Wirkung.

verwickelteren Gebilde wieder zusammensetzen kann. Diese werden aber dann beim Gebrauch der Organe, die sie bilden, wieder zerstört und müssen durch neues gleiches Material ersetzt werden. Die zerstörten, nun unbrauchbar gewordenen Stoffe werden fortgeschafft und dabei ziemlich vollständig oxydiert. Diese Oxydation ist die Quelle für die tierische W ä r m e , denn die Verbindung des Sauerstoffs mit Kohlenstoff zu CO_2 ist ein Energie liefernder Vorgang, wie ja jedermann auch von unseren Öfen her weiß. Umgekehrt muß deshalb der Assimilationsvorgang der Pflanzen Energie in entsprechendem Maße verbrauchen. Diese liefert den grünen assimilierenden Pflanzenteilen die Sonnenstrahlung, weshalb auch der Assimilationsprozeß sich nur bei Tage abspielt.

Es hat bekanntlich lange Zeit (bis 1828) der Glaube geherrscht, daß die Synthese der organischen Verbindungen überhaupt unmöglich sei. Für diesen Glauben sprachen zwei Gründe. Einmal das tatsächlich bis dahin durchaus negative Resultat aller dahingehenden Versuche, zum anderen die ungeheure Fülle der Kombinationen aus so wenig Elementen, die so ganz dem aus der anorganischen Chemie gewohnten Befunde zu widersprechen schien. Hier schien doch noch eine überchemische Kraft im Werke zu sein, die dies Wunder zuwege brachte. Im Jahre 1828 gelang aber W ö h l e r die Synthese des Harnstoffes CON_2H_4, bald folgten andere, und damit war mit einem Schlage jenem sog. „älteren Vitalismus" der Boden unter den Füßen weggezogen. Der Triumph der Mechanisten war natürlich dementsprechend groß, aber es zeigte sich bald, daß hinter der eroberten ersten Schanze der vitalistischen Festung eine zweite viel stärkere lag, und der Kampf von neuem beginnen mußte. Doch davon später. Bleiben wir einstweilen bei den bloßen Tatsachen. Heute können wir die Synthese auch der kompliziertesten Arten von organischen Stoffen bewerkstelligen oder dürfen wenigstens hoffen, sie in absehbarer Zeit zu ermöglichen. Erst vor noch nicht langer Zeit ist es E m i l F i s c h e r gelungen, auch in das bisher verschlossenste Gebiet, das der Eiweißstoffe, einzudringen und uns den Weg wenigstens anzudeuten, auf dem voraussichtlich die Lösung des Problems erfolgen wird. Es ist daher nicht zu viel behauptet, wenn man sagt, daß mit allergrößter Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit im wesentlichen die Synthesen a l l e r Arten von organischen Verbindungen möglich sein werden; und wenn die praktischen Schwierigkeiten dafür allzu groß sein sollten, dies also selbst ein frommer Wunsch bleiben müßte, so zweifelt doch daran heute niemand mehr, daß grundsätzlich jeder aus dem Pflanzen-

oder Tierkörper isolierbare Stoff auch der Synthese zugänglich ist, wenn die Chemiker nur Geduld und Glück genug dazu haben, das auszuprobieren. Über diesen Punkt sind die Akten also geschlossen, und wir können in diesem Sinne die Arbeit der Chemie ruhig im voraus als abgeschlossen betrachten. Allein die Aufgabe der physiologischen Chemie ist hiermit keineswegs erschöpft. Denn nun entsteht die weitere Frage: Auf welche Weise und durch welche chemischen Prozesse entstehen alle jene Substanzen im lebenden Körper wirklich? Was wir in der Retorte und im Reagenzglas ausführen, ist ja keineswegs eine Kopie des Verfahrens der Natur. Nur das Resultat ist dasselbe, der Weg ist fast immer ein gänzlich anderer. Wenigstens ist das so, auf den einzelnen Fall gesehen. Im ganzen dagegen können recht wohl die Laboratoriumsmethoden auch in der Natur vorkommen, ja das ist sogar wahrscheinlich, da wir keinerlei Grund zu der Annahme haben, daß im Organismus die chemischen Gesetze andere sind, als im Reagenzglas, wohl aber aus zahlreichen Beispielen das Gegenteil wissen. Das wird auch der Vitalist nicht behaupten wollen. Es gilt also nunmehr der Natur in ihre geheimste Werkstatt, in ihr Verfahren selbst nachzuspüren.

Hier schien nun, auch nach der Feststellung der künstlichen Herstellbarkeit der organischen Verbindungen, ein noch viel schwierigeres Problem vorzuliegen als das vorige. Der Grund ist folgender: Im Organismus bilden sich jene zum Teil so hoch komplizierten Stoffe, wie bekannt, in der lebenden Zelle, und zwar in der Regel stets unter Mitwirkung des lebenden Protoplasmas. Natürlich ist es keineswegs ausgeschlossen, daß sekundär die zuerst erzeugten Produkte chemische Reaktionen eingehen, die auch ohne lebendiges Protoplasma im Reagenzglas vor sich gehen würden. Indes der erste Anstoß zu allen der betreffenden Zellengattung eigentümlichen Bildungen geht zweifelsohne niemals ohne die Beteiligung des Protoplasmas vor sich. Hiermit aber ist die Forschung scheinbar vor einen circulus vitiosus gestellt, aus dem sie nicht herauskann, und zwar deshalb, weil, wie schon oben erwähnt, gerade das lebendige Protoplasma auch rein chemisch wenig bekannt ist. Wir sagten schon oben, daß wir es in ihm zweifellos mit einem unerhört verwickelten Gemisch zahlreicher Einzelstoffe zu tun haben, die sich dazu wahrscheinlich in einer fortwährenden Umwandlung befinden. Ist nun dieses Gemisch bis heute uns fast ganz rätselhaft geblieben, so haben wir doch insofern einen großen Fortschritt getan, als es gelungen ist, nachzuweisen, daß ganz bestimmte vom lebenden Protoplasma gebildete und aus der lebenden Zelle teilweise wenigstens herausziehbare Stoffe die Vermittler ganz

bestimmter chemischer Reaktionen, sowohl Aufbau- als Abbaureaktionen, sind. Es handelt sich hier um einen erst in der neueren Chemie in seiner vollen Bedeutung erfaßten Begriff, die sog. K a t a l y s e. Man versteht darunter die Tatsache, daß irgendein Stoff an anderen Stoffen eine chemische Reaktion anscheinend hervorruft, ohne selbst daran teilzunehmen.

Setzt man beispielsweise zu käuflicher Wasserstoffsuperoxydlösung (H_2O_2) ein wenig Braunsteinpulver (MnO_2), so zersetzt sich das Wasserstoffsuperoxyd unter lebhaftem Schäumen in Wasser und freien Sauerstoff ($H_2O_2 = H_2O + O$), ohne daß an dem Braunstein die ge ingste Spur einer Veränderung wahrzunehmen ist. Man kann ihn beliebig oft zu demselben Versuch wieder benutzen. Wie für diesen chemischen Vorgang der Braunstein als „Katalysator" wirkt, so wirken in anderen Fällen andere Stoffe, z. B. bei der Fabrikation der Schwefelsäure nach dem Kontaktverfahren fein verteiltes Platin als Vermittler der Oxydation des Schwefeldioxyds (SO_2) zu „Schwefelsäureanhydrid" SO_3, Uranverbindungen als Vermittler der Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff zu Ammoniak (H a b e r s Ammoniaksynthese) u. a. m. Die genauere Untersuchung dieser Verhältnisse hat die moderne chemische Technik in ganz hervorragendem Maße gefördert.

Daß nun in den lebenden Organismen katalytische Prozesse eine außerordentlich große Rolle spielen, ist eine Erkenntnis, die wir zwar längst nach dem vorhandenen Material hätten machen können und in vielen Fällen auch gemacht haben, die aber, wie so vieles, weil andere Dinge noch näher lagen und vorläufig mehr interessierten, lange Zeit unbeachtet blieb. Ein typisches Beispiel dafür ist die G ä r u n g und wir müssen dabei, da d i e L ö s u n g d i e s e s P r o b l e m s e i n e d e r w i c h t i g s t e n E t a p p e n i n d e m S t r e i t e z w i s c h e n M e c h a n i s m u s u n d V i t a l i s m u s darstellt, etwas näher verweilen.

D i e G ä r u n g besteht bekanntlich in der Spaltung gewisser Zuckerarten, vor allem des Traubenzuckers $C_6H_{12}O_6$ in Alkohol, Kohlensäure und einige andere Stoffe. Die gebräuchliche Formel

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2$$

1. Molekül Traubenzucker = 2 Mol. Alkohol + 2 Mol. Kohlensäure

gibt den wirklichen Vorgang nur sehr ungenau und summarisch wieder, da sie weder die zahlreichen Nebenprodukte der Gärung (Glyzerin, Buttersäure, Amylalkohol usw.) erwähnt, noch zum Ausdruck bringt, auf welche Weise das verwickelte, eine Kette von sechs C-Atomen (C—C—C—C—C—C) enthaltende Zuckermolekül in die weit einfacheren des Alkohols und der Kohlensäure zerspalten wird. Durch die eifrige Forscherarbeit vieler Jahrzehnte sind diese beiden Fragen heute zwar immer noch nicht vollständig, aber doch zu einem großen Teile aufgeklärt, worauf wir aber hier nicht näher eingehen wollen. Es sei nur nebenher erwähnt, daß es so auch gelungen ist, durch Änderung der Bedingungen den Ver-

lauf des Vorganges beträchtlich abzuändern, vor allem die Glyzerinausbeute so zu steigern, daß wir im Weltkriege unseren großen Bedarf an diesem für die Sprengstofftechnik unentbehrlichen Material auf diesem Wege decken konnten (N e u - b e r g).

Die Gärung erfolgt, wie man seit Jahrhunderten weiß, durch die sog. Hefe, die man früher eine Zeitlang für einen toten Stoff hielt. Dementsprechend hielt man auch die Gärung für eine einfache chemische Zersetzung, ebenso wie die anderen, wie wir jetzt wissen, durch die Tätigkeit von Mikroorganismen verursachten Umwandlungen, z. B. die Verwesung. Nachdem dann aber in den vierziger Jahren S c h w a n n die Hefe als eine Anhäufung von mikroskopisch kleinen Lebewesen, den Hefepilzen, erkannt hatte und P a s t e u r gegen den Widerstand von L i e b i g diese Entdeckung einwandfrei bestätigt hatte, war die von dem letzteren so eifrig verteidigte rein chemische Theorie nicht mehr zu halten. Indem Pasteur zum ersten Male das erreichte, was wir heute absolute Keimfreiheit oder Sterilität nennen, d. h. peinlichsten Ausschluß jeder Art von Mikroorganismen und Abtötung der schon vorhandenen, bewies er, daß damit sofort alle jene Zersetzungsprozesse aufhören, daß es also ohne die Anwesenheit der typischen Hefepilze, Essigbakterien usw., dem Zucker- oder Fruchtsaft gar nicht einfällt, zu gären oder sauer zu werden usf. Was ist natürlicher, als daß er nun den Satz aussprechen zu können meinte: Alle jene Vorgänge sind keine rein chemischen Prozesse, sie sind vielmehr nur möglich infolge der Tätigkeit von lebenden Wesen, sie sind dem Leben charakteristische Erscheinungen und ohne dasselbe undenkbar. Da haben wir den Vitalismus. P a s t e u r ist aus dieser Schlußweise kein Vorwurf zu machen. Er hätte mehr als ein Genie sein müssen, wenn ihm die richtige Lösung des Problems schon damals sogleich zugefallen wäre. Die richtige Lösung ist die, daß die Alternative: „Rein chemisch — oder nur durch Lebendiges“ falsch gestellt ist. Es ist nämlich, so widersinnig das zuerst auch klingen mag, tatsächlich beides richtig. Der scheinbare Widerspruch hebt sich sofort auf, wenn wir bedenken, daß es sich doch möglicherweise — und es ist wirklich so — um einen Vorgang handeln kann, der zwar theoretisch betrachtet rein chemisch ist, also auch gegebenenfalls im Reagenzglas ausgeführt werden kann, zu dem aber Stoffe nötig sind, die uns praktisch vorläufig nur der lebende Organismus liefern kann. Diese Stoffe sind an sich tot, wie jeder andere chemische Stoff auch, etwa Zucker, Stärke, Indigo, den wir aus lebenden Wesen gewinnen können, und der mit ihnen sich abspielende Vorgang ist daher grundsätzlich in nichts

von anderen chemischen Prozessen verschieden. Das einzige ist, daß wir die hier notwendigen Stoffe vorläufig nicht alle beliebig auch aus der toten Natur entnehmen können, sondern wenigstens einen davon vorläufig nur aus lebenden Zellen entnehmen können oder gar ihn darin lassen müssen, wenn wir ihn ohne Zersetzung daraus nicht isolieren können. Die in Rede stehenden Stoffe, welche uns die lebende Zelle liefern muß, sind nämlich die für die betreffenden Prozesse notwendigen Katalysatoren. Nur ihre Mitwirkung ermöglicht den Verlauf des Prozesses, z. B. der Zuckerzersetzung, bei dem man früher allein Zucker, Alkohol und Kohlensäure ins Auge gefaßt hatte, ohne an den Katalysator zu denken. Wir würden in dem Augenblick uns von der Pflanze (dem lebenden Organismus) völlig unabhängig gemacht haben, wo es uns gelänge, diesen Katalysator selbst künstlich auf rein chemischem Wege zu erzeugen oder durch einen anderen zu ersetzen. Den experimentellen Beweis dafür, daß sich die Sache so verhält, hat 1896 Buchner erbracht, indem es ihm gelang, aus den Hefepilzen durch ein Extraktionsverfahren, bei dem sie zweifellos getötet werden, einen eigenartigen Stoff, die sog. Zymase*), zu erhalten, ein gelbliches Pulver, das in Zuckerlösung gebracht, alle charakteristischen Gärungserscheinungen hervorruft. Und seitdem sind zahllose andere derartige Stoffe, die man dem klassischen Beispiel Pasteurs zu Ehren „Fermente“ oder „Enzyme“ nennt, mehr oder minder vollkommen isoliert, jedes als Katalysator für eine ganz bestimmte chemische Reaktion. Da gibt es Reduktasen und Oxydasen, Katalasen, Lipasen usw. (die organische Chemie pflegt womöglich, wenigstens bei neueren Entdeckungen, die Körper einer Gruppe durch gleiche Endungen zu charakterisieren).

Neuere Forschungen haben ferner ergeben, daß auch Buchners Entdeckung noch keineswegs die endgültige Lösung des Gärungsproblems ist. Es hat sich erstens zeigen lassen, daß seine Zymase kein einheitlicher Stoff ist, sondern mehrere verschiedene Fermente enthält, und zweitens, daß auch nur ein kleiner Teil der durch lebende Hefe verursachten Gärung auf das Konto der darin enthaltenen Zymase zu setzen ist (Rubner), für den Rest also ein eingeschworener Vitalist immer noch die „Lebenskraft“ in Anspruch nehmen könnte, natürlich solange, bis es gelingt, weitere derartige Enzyme aus der Hefe zu isolieren. — Es hat sich ferner herausgestellt,

---

*) zyman = gären (griech.), lateinisch: fervere, daher „Fermente“. „Enzym“ bedeutet dagegen wörtlich, „das, was in der lebenden Zelle enthalten ist“.

daß bei zahlreichen ähnlichen Vorgängen, wie sie z. B. auch in den Verdauungsreaktionen vorliegen, nicht ein Stoff (Enzym) allein, sondern zwei oder mehrere zusammen die betr. Reaktion auslösen. So wirkt das Pepsin des Magensaftes eiweißlösend nur bei Anwesenheit von Salzsäure u. a. m. Man nennt in solchen Fällen den betr. anderen Stoff, der oft eine anorganische Säure, Base oder Salz ist, das „Komplement“. — Es darf heute mit großer Wahrscheinlichkeit behauptet werden, daß auch Atmung und Assimilation Vorgänge sind, deren Erklärung grundsätzlich in dieser Richtung zu suchen ist, wenn sie auch bisher noch nicht völlig aufgeklärt sind. Willstätters rasch berühmt gewordene Forschungen haben der Hauptsache nach nur die chemische Natur der beiden dabei in erster Linie mitwirkenden, die Vorgänge jedoch nicht allein bewirkenden Stoffe, des Blattgrüns und des Hämoglobins zum Gegenstand gehabt. Es ist aber auch ihm noch nicht vergönnt gewesen, das Problem, welche Rolle diese Stoffe bei den betr. Vorgängen spielen, restlos zu lösen. Andererseits ist es gelungen, ohne Zuhilfenahme lebender Zellen den Assimilationsvorgang, nämlich die Bildung von Kohlehydraten aus CO_2 und H_2O durch Einwirkung von ultraviolettem Licht auf kohlensäurehaltiges Wasser bei Gegenwart von Alkalien künstlich hervorzurufen. Man erhielt so nicht nur Formaldehyd, sondern sogar Zucker. Hierbei ist jedoch das Blattgrün ganz ausgeschaltet, so daß man sicherlich auch in diesen künstlichen Assimilationsversuchen kein genaues Abbild der Wirklichkeit zu sehen hat. Doch steht es nach alledem wohl außer Frage, daß das Problem in absehbarer Zeit vollständig gelöst werden wird. — In dasselbe Kapitel gehören endlich aller Wahrscheinlichkeit nach auch die sog. „Immunitätsreaktionen“, die hauptsächlich durch Kochs, Behrings, Ehrlichs u. a. bahnbrechende Forschungen zu großen praktischen Erfolgen geführt haben. Ja, es liegt nahe zu fragen, ob nicht vielleicht alle chemischen Vorgänge im lebenden Organismus unter dem Gesichtspunkt der Katalyse zu betrachten wären. Doch lassen wir das hier dahingestellt.

Der neuesten Zeit verdanken wir ferner die wichtige Einsicht, daß die chemischen Systeme, die uns in den Organismen gegeben sind, größtenteils unter den auf S. 17 erörterten Begriff kolloidaler Lösungen fallen. Nur bei diesen finden wir die Verhältnisse, die ein so verwickeltes Spiel physikalisch-chemischer Kräfte ermöglichen, wie sie uns der lebende Organismus zeigt. Hier haben wir die starke Empfindlichkeit gegen Änderungen der Temperatur oder der Konzentration eines zugesetzten Elek-

trolyten, die große Oberflächenentwicklung u. a. m. Auch wer nicht mit Bechhold geradezu den Ursprung des Lebens aus der toten Materie (die Urzeugung) in der Bildung derartiger kolloidaler Molekülkomplexe aus synthetisch entstandenen Eiweißstoffen (s. u.) erblickt, kann nicht verkennen, daß außerordentlich viele Fäden die Kolloidchemie mit der Biologie verknüpfen, so daß die neuere so fruchtbare kolloidchemische Forschung zweifelsohne auch eine Menge biochemischer Rätsel wird lösen helfen[24].

Hiermit sei das biochemische Kapitel nun aber vorläufig abgebrochen, und wir wenden uns zu einer anderen Gruppe von Tatsachen. Die Biochemie ist ja nur eine Hilfswissenschaft der Biologie. Retorte und Reagenzglas sind nur Hilfswerkzeuge der Wissenschaft vom lebenden Organismus, die Hauptinstrumente derselben sind diejenigen, die uns gestatten, nicht nur einzelne organische Stoffe und Stoffgruppen in ihrer Wechselwirkung zu verfolgen, sondern das lebende Wesen selbst in all seinen Einzelheiten zu beobachten — dazu dienen uns Mikroskop und Mikrotom. Mit ihnen verfolgt die Biologie die Entwicklung des lebenden Organismus von der Entstehung aus dem elterlichen Organismus bis zum Tode, mit ihnen untersucht sie Bau und Funktionen der einzelnen Teile usw.

Seit das Mikroskop in den Dienst der biologischen Forschung getreten ist, ist dieselbe eigentlich erst über das Stadium einer bloß klassifizierenden und rubrizierenden Systematik hinausgekommen. Noch zu Linnés Zeiten war Biologie (Botanik und Zoologie) nicht viel mehr als eine trockene „Beschreibung" der Merkmale der einzelnen Arten und eine Sammlung lateinischer Namen, wie in der gleichen Weise noch in unserer Kinderzeit der Schulunterricht in der Botanik damit begann, daß man die lateinischen und deutschen Pflanzennamen auswendig lernte. Heute erscheint uns ein solcher rein äußerlicher Betrieb nicht einmal den Namen einer „Wissenschaft" zu verdienen, so wenig wie wir es als „wissenschaftliche" Astronomie betrachten, wenn jemand einen halben Sternkatalog im Kopfe hat, oder als wissenschaftliche Sprachforschung, wenn er möglichst viele Vokabeln einer Reihe von Fremdsprachen gelernt hat. Allein es ist unberechtigt, über dieses uns kindlich erscheinende Stadium der Wissenschaft zu lächeln. Es ist die notwendige, auch heute bekanntlich dem Neuling nicht zu ersparende Durchgangsstufe zu einer tieferen Erkenntnis und nicht nur die Durchgangsstufe, sondern auch die solide Grundlage des ganzen Erkenntnisgebäudes.

So konnte auch Schleidens und Schwanns Entdeckung der Zelle (1838) als des Bausteins aller Organismen erst dadurch fruchtbar wer-

den, daß sie eine wohlentwickelte Systematik und Morphologie vorfand, die nun mit einem Schlage durch diese Entdeckung in ein ganz neues Licht rückten. — Jeder lebendige Organismus besteht also entweder aus einer oder aus vielen „Zellen“, d. h. aus kleinen geschlossenen Einheiten, die auch in einem vielzelligen Organismus (höhere Pflanze oder Tier) eine Art von selbständigen kleinen Wesen vorstellen. Wir unterscheiden hiernach zwischen Protozoen, d. h. einzelligen, und Metazoen oder vielzelligen Orga-

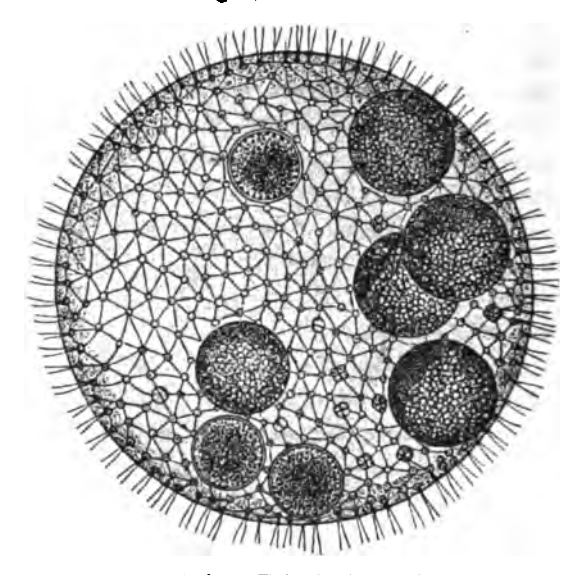


Abb. 30. Volvox-Kolonie (Kugeltierchen).

nismen. Jedoch muß schon hier hervorgehoben werden, daß dieser Unterschied in zweierlei Hinsicht ein relativ fließender ist. Zum ersten gibt es Zellenkolonien, in denen die einzelnen Teilzellen eine solche Selbständigkeit bekunden, daß man das Ganze schwerlich als einen Organismus bezeichnen möchte, wenngleich auch dabei oft eine gewisse Geschlossenheit des Ganzen und ein Anfang von Arbeitsteilung zwischen den Zellen, d. h. von Organisation des „Zellenstaates“, nicht zu verkennen ist. Von hier zu den straffer organisierten Zellenhaufen, die wir schon als „vielzellige Organismen“ anzusprechen gewöhnt sind, und damit zu den Metazoen führt ein sehr allmählicher Übergang. Als typischer Übergang gilt die Volvox-Kolonie (Abb. 30), die immerhin schon eine Differenzierung in Bewegungs- und Ernährungszellen einerseits, Fortpflanzungszellen andererseits zeigt. — Zum

andern muß bedacht werden, daß auch der höchste vielzellige Organismus, der Menschenkörper, stets seine Existenz als eine einzelne Zelle (Keimzelle) beginnt, bzw. als befruchtete Eizelle, die durch Verschmelzung zweier Zellen entstanden ist. Auch insofern besteht also überall ein Übergang zwischen einzelligen und vielzelligen Wesen.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die Biologie ihr Ziel, das Verständnis der Lebenserscheinungen, jedenfalls nur erreichen kann, wenn sie mit den einfachsten Objekten beginnt. Damit zerlegt sich also das biologische Problem sogleich in zwei Stufen: 1. Was ist und wie funktioniert eine einfachste lebende Zelle, und 2. wie kommt es zu einer höheren Organisation, sowohl der Einzelzelle als eines ganzen Zellenstaates. Mit anderen Worten: Bevor an eine wirkliche Aufhellung der Erscheinungen bei verwickelter gebauten Einzelligen (wie etwa dem Pantoffeltierchen) oder gar bei den Vielzelligen gedacht werden kann, müssen wir den Bau und die Funktionen möglichst einfacher Arten lebender Zellen zu verstehen suchen. Wir betrachten daher zunächst

Die einfache lebende Zelle.

Bekanntlich zeigt die Zelle fast regelmäßig unter dem Mikroskop eine deutliche Differenzierung in zwei Teile, einen meist etwas dichter erscheinenden Zellkern und eine mehr durchsichtige „Zellplasma"-Masse, in der der Kern schwimmt. Ob es kernlose Zellen gibt (H ä c k e l s „Moneren") ist eine bis auf den heutigen Tag offene Frage. In zahlreichen Fällen, wo vordem auch mit den besten Mikroskopen eine Unterscheidung des Zellkerns nicht möglich war, hat man doch durch geeignete Färbemethoden[16] schließlich den Kern isolieren können. Es liegt daher nahe, zu vermuten, daß auch da, wo das bisher noch nicht gelungen ist, nur der Mangel geeigneter Unterscheidungsmethoden schuld daran ist. Andererseits scheint es ziemlich sicher gestellt zu sein, daß es auch Zellen gibt, in denen die färbbare Kernsubstanz das sog. Chromatin, noch nicht an einer Stelle, räumlich getrennt von dem übrigen Protoplasma, vereinigt ist, sondern sich in Gestalt zahlreicher kleiner Körnchen (Chromidien) unregelmäßig im Plasma verteilt. Vorübergehend tritt dieser Zustand auch bei der gewöhnlichen Zellteilung ein. Mag es aber wirklich nun kernlose Moneren im Sinne H ä c k e l s gegeben haben oder nicht, heute hat jedenfalls die große Mehrzahl aller Zellen einen Kern, oft auch mehrere, die anscheinend verschiedene Funktionen erfüllen (Mikronukleus gewisser Protozoen u. s. a.).

Was die Größe der Zellen anlangt, so ist diese in sehr weiten Grenzen veränderlich. Es gibt solche, die man bequem mit dem Zentimetermaßstab nachmessen kann, andererseits solche, die kaum mit dem besten Mikroskop eben sichtbar sind. Die Mehrzahl hat freilich Dimensionen, die ziemlich nahe an der Grenze der Sichtbarkeit mit bloßem Auge liegen. Die kleinste bisher mit Sicherheit ausgemessene Form dürfte v. Esmarchs Spirillum parvum mit einer Dicke von 0,1—0,3 μ sein. Auch der Influenzabazillus ist sehr klein (0,4 μ Dicke und 1,2 μ Länge). Es ist jedoch nicht unmöglich, ja aus gewissen Gründen sogar wahrscheinlich, daß es noch kleinere Organismen gibt, die vielleicht nur im Ultramikroskop sichtbar werden könnten. Möglicherweise gehören die Erreger einiger Krankheiten, wie z. B. der Lungenseuche des Rindes, der Maul- und Klauenseuche, der „Mosaikkrankheit" des Tabaks u. a., hierhin, wie sich aus Filtrationsversuchen ergeben hat. Jedenfalls dürften diese dann aber nicht viel kleiner sein, als die im Mikroskop noch eben sichtbaren. Man mag also Durchmesser zwischen 0,1—0,3 μ immerhin schon nahe als untere Grenze der Lebewesen ansehen können. Berechnet man für ein solches Wesen von 0,1 μ Durchmesser auf Grund des heute über die Konstitution der Eiweißstoffe Bekannten die Zahl der Eiweißmoleküle in einem solchen Wesen, so findet man nach Errera[96] etwa 10 000, also immerhin eine erkleckliche Zahl von Bausteinen, die noch zu den denkbar verwickeltsten Strukturen ausreichen dürfte. In Wahrheit ist nun auch jedenfalls der Zellkern, vermutlich aber auch das umgebende Zellplasma von einer sehr feinen, verwickelten Struktur, von der uns auch die besten und sorgfältigsten neueren Untersuchungsmethoden kaum einen schwachen Begriff zu geben imstande sind. Wir haben dafür nämlich einen absolut zwingenden Beweis in den Tatsachen der Vererbung. Bedenken wir, daß auch die verwickeltsten aller vielzelligen lebenden Wesen z. B. der Mensch, im Anfang eine einfache Zelle sind und daß doch andererseits die Tatsache der Vererbung unbegrenzt vieler körperlicher wie geistiger Eigenschaften feststeht, so müssen wir zugeben, daß das Plasma bzw. der Kern des Keimes eine ganz unheimliche Differenzierung in sich schließen können. Denn es ist doch der Schluß nicht zu umgehen, daß genau so viele Unterschiede, wie Menschen voneinander und von anderen Arten lebender Wesen aufweisen und vererben können, auch in den Ei- bzw. Samenzellen schon vorliegen müssen. Vor einem Mißverständnis dieses Satzes, auf das wir unten noch einmal zurückkommen müssen, sei hier schon gewarnt. Selbstredend sagt der Satz nicht aus, daß diejenigen Eigenschaften, bezüglich

deren die erwachsenen Individuen Unterscheide zeigen können, im Ei enthalten wären (s. unten die „Einschachtelungstheorie"). Es müssen nur ebensoviele Unterschiede sein, wenngleich dieselben offenbar im Ei ganz andere Dinge betreffen als im Erwachsenen. Es verhält sich damit etwa wie mit den Kurven, die der Stift des Phonographen auf der Platte einritzt. Diese müssen, wenn der Phonograph genau ist, jede Nuance der gesprochenen Töne enthalten, aber natürlich nicht als Töne, sondern eben als geometrische Kurven. Die Unterschiede betreffen also hier etwas ganz anderes als dort; aber jedem Unterschied des einen entspricht ein solcher des anderen Gebietes. — Es muß demnach mindestens ebensoviele verschiedene Arten von Eizellen geben, als es Arten lebender Wesen gibt; ja, wenn wir vom Menschen und den höheren Tieren aus verallgemeinern dürfen, bei denen zweifelsohne nicht nur der Artcharakter, sondern sogar der Individualcharakter vererbt wird, es muß mindestens so viele verschiedene Eizellen geben, als es lebende Individuen gibt. Daraus ergibt sich ohne weiteres, welch unermeßlich feine Differenzierung wenigstens in vielen Fällen innerhalb dieser einfachen Zelle vorliegt und wie wenig also das, was uns bisher auch die feinsten mikroskopischen Methoden davon erkennen lassen, im Vergleich zur Wirklichkeit ist. Nun ist ja freilich damit nicht gesagt, daß eine so verwickelte Struktur immer vorliegen muß. Im Gegenteil, wir werden die weitere Vermutung wagen dürfen, daß, je tiefer hinab wir auf der Stufenleiter der organischen Wesen steigen, um so einfacher auch die Struktur der Zellen sein wird. Allein man sieht doch ein, daß wir hier jedenfalls mit Schlüssen aus Nichtbeobachtetem sehr vorsichtig sein müssen. Daß eine Amöbe oder ein Bazillus eine sehr viel einfachere Struktur haben werden als ein Säugetierei oder die Eizelle einer Blütenpflanze, das darf als sicher gelten. Wie verwickelt aber selbst in jenen einfachsten uns bekannten Organismen die Struktur trotzdem noch sein mag, davon wissen wir vorläufig nichts. Es mag jedoch noch einmal ausdrücklich festgestellt sein, daß es sich hier keineswegs um Struktur im räumlichen Sinne allein zu handeln braucht; vielmehr ist es mehr als wahrscheinlich, daß vor allem die Plasmasubstanz selbst, d. h. die chemische Beschaffenheit der die Zelle zusammensetzenden Stoffe, von Fall zu Fall typische Unterschiede aufweist. Man kann sich ferner fragen, ob hier nicht die Grenze zwischen „mechanischer" und „chemischer" Struktur flüssig wird; d. h. anders ausgedrückt, ob man nicht unter Umständen einen vorliegenden Unterschied zweier Zellgattungen ebensogut als verschiedene Anordnung gleicher Moleküle wie als gleiche

Anordnung verschiedener Moleküle auffassen könnte. Sind ja doch für den Strukturchemiker, der die Atome aus den oben (S. 10f.) entwickelten Gründen auch im Molekül für wirklich existierende, nebeneinanderliegende Dinge hält, die Moleküle selber komplizierte Bauwerke aus Atomen im reellsten Sinne des Wortes und letztere wieder ganze Planetensysteme von Elektronen. Liegen nun verschiedene solcher Moleküle zusammen, und sind die Kräfte, die sie in ihre Lagen bringen, was doch vielleicht anzunehmen ist, keine anderen, als die, die auch die Atome im Molekül zusammenhalten, so ist es letzten Endes reine Geschmackssache, an welcher Stelle man die Grenze zwischen mechanischer Struktur und chemischer Struktur ziehen will, da im Grunde beides ein und dasselbe ist und durch dieselben Ursachen bewirkt wird. — Also mit der Möglichkeit derartig verwickelter Konstruktionen hat es keine Not, die Frage ist aber: Wie sind sie entstanden? Sind sie wiederum aus rein chemischen Ursachen begreiflich oder nicht?

Soviel über den Bau der lebenden Zellen. Eine zweite Reihe von Untersuchungen betrifft die Funktionen derselben, dieses Wort im allgemeinsten Sinne genommen; ausgeschlossen seien jedoch vorläufig die Erscheinungen der Vermehrung und Fortpflanzung (Zellteilung), die wir im Zusammenhang mit dem Entwicklungsproblem auch für die Vielzeller behandeln wollen. Als Funktionen der lebenden Zelle können wir dann hauptsächlich drei nennen: Ernährung, Reizaufnahme, Bewegung, die aber unter sich eng verbunden sind. Ein bekanntes Objekt zum Studium dieser Dinge bieten z. B. die sog. Wechseltierchen (Amöben) dar. Wir sehen unter dem Mikroskop vor unseren Augen solch ein winziges Ding, das ja nur ein nacktes Schleimklümpchen ist, seine Fortsätze (Scheinfüße) ausstrecken, mit ihrer Hilfe sich von der Stelle bringen, an ein anderes winzig kleines Lebewesen oder sonst ein brauchbares Stückchen Nahrung herankommen; sehen, wie sich die Füßchen um dasselbe legen, wie dies Stückchen allmählich in den Körper der Amöbe hineinwandert, worauf die Scheinfüßchen, nachdem ihr Dienst getan ist, wieder eingezogen werden, wie die „Beute“ sich ganz oder teilweise allmählich auflöst in einem rasch ausgeschiedenen Saft, wie der unverdauliche Rest wieder aus dem Körper ausgestoßen wird und bald darauf alles von vorne an mit einem anderen Stückchen Nahrung beginnt. Wir stellen ferner fest, daß derartige winzige Wesen auf gewisse Reize hin, z. B. Licht oder Schatten mit bestimmtem Verhalten antworten. Sie müssen also offenbar in irgendeiner Weise für diesen Reiz empfänglich sein. Ja, auch die Nahrungsaufnahme selbst bekundet schon

deutlich eine solche Reizempfänglichkeit, denn wir können leicht feststellen, daß dies kleine Schleimklümpchen einen genauen Unterschied macht zwischen den ihm begegnenden Stoffen, daß die Amöbe z. B. unverdauliche harte mineralische Körnchen völlig links liegen läßt. Kurz, sie stellt sich uns als ein Wesen dar, das in unverkennbarer Analogie mit unserem eigenen Handeln und dem der höheren Tiere anscheinend mit der Fähigkeit zu freiwilliger Bewegung, zur Aufnahme und Verwertung von Sinnesreizen, und zur Auswahl passender Nahrung sowie ihrer Verarbeitung (Verdauung) begabt ist. Die Frage ist nunmehr: Wieviel und was an diesen Erscheinungen ist durch physikalisch-chemische Gesetze erklärbar? Es muß aber sogleich auch hinzugefügt werden, daß in gewissem Sinne auch der Bau der lebenden Zelle hier einbegriffen ist. Denn jede Zelle entsteht ja aus einer anderen, kann also selbst als Produkt der Zellentätigkeit aufgefaßt werden. Außerdem ist es selbstverständlich, daß die physikalisch-chemischen Kräfte, welche an dem Spiel der Zellentätigkeit beteiligt sind, keine anderen sind, als diejenigen, welche die Zelle zusammenhalten.

In einem anderen Sinne muß freilich streng zwischen zwei verschiedenen Fragen unterschieden werden, nämlich zwischen der Frage der Lebenserscheinungen und der Frage der Lebensentstehung. Wir müssen fragen:

1. Was nützen uns die Physik und Chemie in Hinsicht auf die Erscheinungen, die sich an der einmal vorhandenen lebenden Zelle abspielen? Und wenn sie diese erklären könnten:

2. Können dieselben Wissenschaften dann auch zur Erklärung der Entstehung lebender Zellen überhaupt aus vorhandenen anorganischen Stoffen genügen?

Wer sich nicht klar macht, daß dies zwei grundverschiedene Fragen sind, wird schwerlich zu einer wirklichen Einsicht in das Lebensproblem kommen, und leider werden diese Fragen meist in der populären Kampfliteratur in Sachen Vitalismus — Mechanismus in ganz unverantwortlicher Weise durcheinander geworfen. Vergleichen wir die lebende Zelle mit einer Maschine, so enthält die erste Frage den Streit darüber, ob dieser Vergleich im Sinne des „Mechanismus“ mehr als ein Vergleich sein soll, ob die Zelle also in Wahrheit, nicht bloß bildlich, eine verwickelte Maschinerie — und nichts weiter — ist. Die zweite Frage aber dreht sich darum, ob, wenn denn dies auch einmal dem Mechanismus zugestanden würde, es auch rein physikalisch-chemisch begreiflich wäre, daß ein so unheimlich kompliziertes Ding

überhaupt entstand. Daß dies eine neue sehr viel größere Schwierigkeit für den Mechanismus bedeutet, leuchtet ein, wenn man daran denkt, daß ja z. B. der Bestand und das Funktionieren eines Elektrizitätswerkes oder einer modernen Schnellpresse auch sicherlich auf physikalisch-chemischen Kräften beruht, daß aber trotzdem niemand behaupten wird, diese und ähnliche Wunderwerke der Technik seien auch „von selbst" durch ein regelloses Spiel solcher Kräfte entstanden. Wir werden somit diese beiden Probleme nun nacheinander zu untersuchen haben. Vorweg sei jedoch noch einmal bemerkt, daß wir dabei einstweilen sowohl von dem seitens der Mechanisten für sich angeführten Kausalitätsprinzip, als auch von den seelischen Erscheinungen, die die Vitalisten ins Feld führen, sowie von dem Gesichtspunkt der „Zweckmäßigkeit" (Teleologie) ausdrücklich absehen, uns also einstweilen einfach an den unserer Erfahrung, wie man sagt, unmittelbar zugänglichen Befund halten und uns die weitere Verfolgung jener philosophischen Gesichtspunkte für später versparen (s. S. 265) Zunächst also

Das Problem der Lebenserscheinungen,

worunter wir alles verstehen, was die lebende Zelle an direkt beobachtbaren Funktionen zeigt. Kann man also das, was beispielsweise eine Amöbe leistet und tut, durch bloße physiko-chemische Kräfte ausreichend erklären?

Historisch steht zunächst außer allem Zweifel fest, daß der Mechanismus bislang eine ganze Reihe von Erfolgen, der Vitalismus ebensoviele Niederlagen zu verzeichnen hat. Zwei dieser Fälle, die eindrucksvollsten und bedeutsamsten, sind schon oben erwähnt. Der ältere Vitalismus hatte sogar schon die chemische Natur der organischen Stoffe überhaupt als Produkt einer besonderen vis vitalis angesehen und behauptet, es werde dem Chemiker niemals möglich sein, alle diese Stoffe, Zucker, Indigo, Vanillin, Rosenöl usw. künstlich aus den Elementen, aus anorganischem Material aufzubauen. Wöhlers Harnstoffsynthese (1828) und in ihrem Gefolge zahllose andere Synthesen organischer Stoffe machten diesem älteren Vitalismus ein unrühmliches Ende. — Wir sahen ferner auch, wie dann der von Pasteur in bezug auf die Gärung und ähnliche Vorgänge vertretene Vitalismus endgültig durch Buchners Entdeckung der Zymase und durch die ganze moderne Enzym-Forschung überwunden ist. Wie hartnäckig aber auch diese Position von den Vitalisten verteidigt worden ist und zum

Teil noch wird, dafür mag als unverdächtiger Zeuge der Führer des Neovitalismus R e i n k e (Kiel), angeführt werden. Er sagt[97]: „Es wäre vergebliches Bemühen des Chemikers, wollte er die Umwandlung von Kohlensäure in Zucker im Laboratorium auf dieselbe Weise ausführen, wie sie sich in den Pflanzen gleichsam von selbst vollzieht." Angesichts der Resultate der neueren Enzym-Forschung und besonders der oben erwähnten auf die Assimilation bezüglichen Versuche ein absolut unhaltbarer Ausspruch, der in jedem Augenblick durch einen glücklichen experimentellen Griff, ähnlich dem Buchners bei der Gärung, widerlegt werden kann! Es ist aber bemerkenswert, wie hartnäckig der Vitalismus gerade die Assimilation als besonderes Beweisstück überphysikalischerKräfte jahrzehntelang festgehalten hat.

Einen dritten Mißerfolg hat er mit der Betonung der physikalisch-chemischen Unerklärbarkeit des Vorgangs der Zeugung und Befruchtung erlitten, der besonders oft als eines der geheimnisvollsten „Lebenswunder" hervorgehoben worden ist. Ich will nun keineswegs behaupten, derselbe sei bereits restlos aufgeklärt. Es ist vielmehr die weiter unten noch ausführlicher zu erörternde Tatsache der Verschmelzung zweier Keimzellen nach wie vor ein Vorgang, der bislang alles physikalisch-chemischen Verständnisses spottet, woran auch die sogleich noch zu erwähnenden Versuche L e h m a n n s mit flüssigen Krystallen nichts geändert haben. Allein der Vitalismus hat immer, auch abgesehen davon, ganz besonderen Wert auf die Tatsache gelegt, daß durch diese Verschmelzung von Ei- und Samenzelle das schlummernde Leben erweckt, das Ei also zur Entwicklung angeregt wird. Gerade diese Seite der Sache aber ist nun, wie zahlreiche neuere Versuche von R. H e r t w i g , L ö b , B a t a i l l o n u. a. gezeigt haben, wohl zweifellos einer physikalisch-chemischen Erklärung zugänglich. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß der Entwicklungsprozeß auch künstlich in Gang gesetzt werden kann durch eine ganze Reihe verschiedener Mittel, so durch mechanische Reize (Bürsten, Prickeln mit einer Nadel), durch chemische (Zusatz von gewissen Salzen zum Wasser) u. a. Diese Versuche, welche Bataillon sogar mit Wirbeltiereiern (Fröschen) anstellen konnte, stellen somit eine k ü n s t l i c h e P a r t h e n o g e n e s i s dar. Sie legen die Hypothese sehr nahe, daß auch im Falle der gewöhnlichen Entwicklung des befruchteten Eies der eingedrungene Spermakern Enzyme enthält, die die Entwicklung in Gang setzen. Diese Hypothese wird aufs beste gestützt durch Versuche von O. und G. Hertwig, die die Ent-

wicklung tierischer Eier bewirkten durch Konjugation derselben mit Spermatozoen, welche durch Radiumbestrahlung vorher so stark geschädigt waren, daß die Spermakerne in kurzer Zeit abstarben. Wenn die Entwicklung des Eies trotzdem durch ein solches sterbendes bzw. totes Spermatozoon noch angeregt werden kann, so ist das offenbar am einfachsten dadurch zu erklären, daß eben die betr. Enzyme noch vorhanden sind. Selbstredend soll hiermit nun nicht behauptet werden, daß auch für den Fall der normalen Befruchtung der männliche Keim weiter keine Rolle als die einer auslösenden Kraft spielte. Das ist sogar sicher falsch, wie einerseits die Vererbung väterlicher Eigenschaften, andererseits die abnorme Kleinheit künstlich parthenogenetischer Individuen beweist. Es sollte nur gezeigt werden, daß die „Erweckung des schlummernden Lebens" im Ei höchstwahrscheinlich ein auf chemischen Einflüssen beruhender Vorgang ist. Die Vitalisten können ehrlicherweise nicht bestreiten, daß sie gerade dies vordem als besondere Glanznummer der Lebenskraft oder der „Entelechie" oder wie das überphysikalische Prinzip sonst heißen mag, hingestellt haben. Nun zeigen die erwähnten Forschungen, daß dieses Glanzstück auch von einem einfachen elektrolytischen Ion oder einem etwas energischen Rippenstoß seitens des Experimentators geleistet werden kann — dadurch entsteht zum mindesten der peinliche Eindruck, daß der Vitalismus sich auch an dieser Stelle wieder „rückwärts gesiegt hat", und es erscheint denn doch richtiger, lieber von vornherein sich soweit zurückzuziehen, daß der Gegner einem nicht mehr an den Leib kommt.

In diesem mehr historischen Lichte muß man auch diejenigen Experimente ansehen, die der Mechanismus oft, ohne genügendes Recht, als „Beweise" für die physikalisch-chemische Erklärbarkeit der Lebensvorgänge, der Vitalismus ebenso oft, auch ohne Recht, als gänzlich belanglos hingestellt hat, die zahlreichen A n a l o g i e n nämlich, welche man im Laufe der Zeit zu den Lebensvorgängen auf anorganischem Gebiet herzustellen gelernt hat. Fast zu allen Lebenserscheinungen, selbst zu denen der Konjugation und Teilung der Zellen, sind heute solche physikalisch-chemischen Analoga bekannt. Ein paar davon mögen hier zur Klarstellung der Sachlage angeführt sein.

Bringt man etwa einen Tropfen Ferrocyankaliumlösung (gelbes Blutlaugensalz) vorsichtig in eine Lösung von Kupfersulfat (Kupfervitriol), so bildet sich um den Tropfen herum sogleich eine dünne Haut aus wasserunlöslichem Ferrocyankupfer nach der Gleichung:

$$K_4\,Fe\,(CN)_6 + 2\,Cu\,SO_4 = Cu_2\,Fe\,(CN)_6 + 2\,K_2\,SO_4$$

Eine solche Haut gehört nun, wie Pergament, Tierblase u. a. (s. o.) zu den „halbdurchlässigen" Wänden, sie gestattet Wasser, eventuell auch Salzen den Durchtritt. Unter geeigneten Konzentrationsbedingungen tritt nun in diesem Falle Wasser in das Innere des Tropfens, der „künstlichen Zelle", ein. Es entsteht ein inwendiger Überdruck und schließlich zerreißt die Wandung. An der Rißstelle

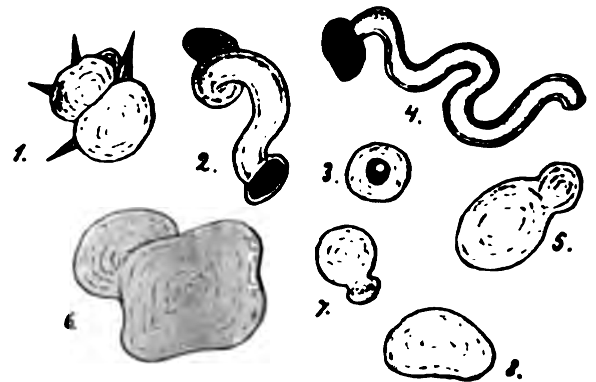


Abb. 31. Künstliche „Zellen" aus Kupfervitriol- und Blutlaugensalzlösung.

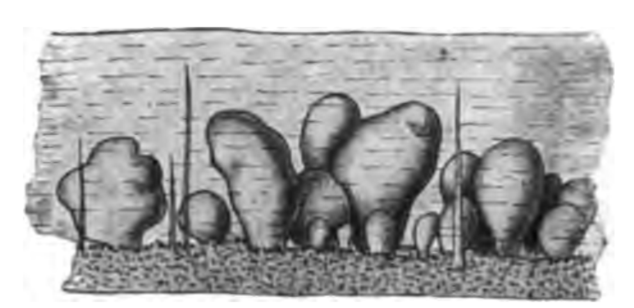


Abb. 32. Künstliche „Zellen" aus Wasserglas- und Zinkvitriollösung.

tritt die im Inneren befindliche Flüssigkeit aus, es bildet sich aber um den austretenden Tropfen sogleich wieder die dünne Haut, und das Spiel beginnt nun mit dieser „Tochterzelle" ebenso wie mit der alten „Zelle" von neuem. Vor unseren Augen vollzieht sich so ein Vorgang, der lebhaft an das „Wachstum" eines Organismus durch Zellteilung erinnert. Ganz ähnliche Versuche kann man mit anderen Paaren geeigneter Salzlösungen, z. B. Wasserglas und Zinkvitriol u. a. machen (Traube, Reinke u. a.), s. Abb. 31 und 32.

Eine andere sehr hübsche Versuchsreihe stammt von Rhumbler. Er brachte z. B. Chloroformtröpfchen in einer Flüssigkeit gleichen spezifischen Gewichts in Suspension, und konnte nun an diesen allerlei Erscheinungen hervorrufen, die an die Nahrungsaufnahme einzelliger Wesen, z. B. der Amöben, erinnern.

So umflossen die Chloroformtröpfchen kleine Siegellackkörnchen ganz ähnlich wie eine Amöbe ein Stückchen Nahrung. Diese Erscheinungen erklären sich leicht auf Grund der Gesetze der Oberflächenspannung, wir brauchen hier nicht näher darauf einzugehen. Jedenfalls sind es ziemlich einfache physikalische Phänomene.

Lehmann beobachtete an den von ihm entdeckten „flüssigen Kristallen" eine ganze Reihe von Erscheinungen, die eine geradezu frappante Ähnlichkeit mit den Vorgängen der Zellkonjugation (Verschmelzung zweier Zellen) und Zellteilung aufweisen.



Abb. 33. Leducs künstliche Algen.

Neuerdings hat Leduc geradezu wundervolle Ergebnisse dieser Art mit ähnlichen Mitteln, wie zuerst genannt, erzielt[98]. Es gelang ihm, Gebilde zu erzeugen, die äußerlich täuschend einer Kolonie Algen gleichen, ja er konnte ganze „Rasenbildungen" hervorrufen, ähnlich, wie wir sie an mit Algen überzogenen Wasserflächen beobachten. Beistehende Abb. 33 mag von diesen eigenartigen „künstlichen Pflanzen" ein Bild geben. Natürlich handelt es sich auch hierbei lediglich um ein sonderbares, geschickt arrangiertes Spiel bekannter physikalischer und chemischer Kräfte, dessen Erklärung keinerlei Schwierigkeiten bietet.

Diese paar Beispiele werden genügen, um das Wesentliche der betreffenden Analogien klarzustellen. Hinzuzufügen wäre freilich, im Sinne vieler Mechanisten, noch eine ganze Reihe allgemeinerer Analogien zwischen Vorgängen des anorganischen und organischen Gebietes. So hat W. Bölsche die Analogie der Assimilation, d. h. der Hereinziehung des umliegenden anorganischen Materials in den Kreislauf des Pflanzenlebens mit dem chemischen Prozeß der Flamme betont und in seiner poesievollen Art darin sogar einen Anklang an die Vorstellung der Alten von der Verwandtschaft zwischen Feuer und Seele (Heraklit) gefunden. — Ähnlich vergleicht Preyer in seinem Buche: „Naturwissenschaftliche Tatsachen und Probleme" das Meer mit einem gewaltigen Organismus, wobei dann das „ruhige Atmen des Meeres", die Ebbe und Flut als „Herzschlag der Erde" u. a. m. herhalten müssen usw.

Bei nüchterner Betrachtung wird sich ja nun freilich jedermann sagen, daß dies alles nichts weiter als im Grunde doch recht lockere Vergleiche

und oberflächliche Analogien sind, die uns in der Erforschung der wirklichen Lebensvorgänge selbst keinen Schritt weiter bringen. Denn es steht unbestreitbar fest, daß die letzteren, selbst wenn sie rein physiko-chemisch erklärbar sind, sicher nicht einfach auf diejenigen Kräfte zurückzuführen sind, die das scheinbar analoge Geschehen bei dem betreffenden anororganischen System veranlassen. Wenn z. B. eine der zuerst genannten „künstlichen Zellen" infolge der Endosmose platzt, und dadurch scheinbar eine neue Zelle „heraussproßt", so hat dieser einfache physikalisch-chemische Vorgang ganz sicherlich nichts oder kaum etwas mit denjenigen äußerst verwickelten Vorgängen zu tun, die man auch bei Geltung des Mechanismus für die wirkliche Zellteilung annehmen muß, und ebenso ist es in jedem der anderen Fälle auch. Wer also dem Publikum, das unmöglich immer sachverständig genug sein kann, um die Tragweite dieser Versuche abzuschätzen, diese Vergleiche vorsetzt, ohne hinzuzufügen, daß es eben nichts als oberflächliche Vergleiche sind, der streut bewußt oder unbewußt dem Publikum Sand in die Augen, und dagegen wird von vitalistischer Seite mit Recht Einspruch erhoben. Wenn jemand glauben sollte, er hätte mit diesen Versuchen bewiesen, daß die lebende Zelle weiter nichts als eine physiko-chemische Maschine sei, so kann er gerade so gut aus der Existenz von Musikautomaten folgern, daß Liszt und Chopin auch Musikautomaten waren. Insofern hat also in der Tat der Vitalismus von diesen Analogien nichts zu fürchten.

Anders aber liegt wieder die Sache, wenn wir dieselben im historischen Lichte sehen und sie da zusammenhalten mit allem, was der Vitalismus als Beweis für sich angeführt hat. Wir müssen dann auch bei diesen Dingen wieder feststellen, wie sehr sich der Vitalismus durch Behauptungen seinereits bloßgestellt hat. Wie er die Gärung, die Assimilation, die Saftzirkulation und so vieles andere als Lebensfunktionen ausgegeben hat, so hat er auch hundertmal versichert, in der anorganischen Natur gäbe es nichts einer Zellkonjugation, nichts dem Wachstum, der Nahrungsaufnahme usf. Ähnliches, und hat immer wieder erleben müssen, daß man ihm auf jede solche Behauptung hin eine entsprechende Analogie vorgehalten hat. Es ist nicht zuviel behauptet, wenn man sagt, daß der Vitalismus (von psychischen Elementen abgesehen) wirklich keine einzige Tätigkeit der lebenden Zelle zu nennen imstande ist, zu der man nicht anorganische Analoga anführen könnte. Daher ist es gänzlich aussichtslos, das Leben definieren zu wol-

len *durch die Aufzeigung einzelner Vorgänge oder Gruppen von Vorgängen, die der lebende Organismus vor allem anorganischen Geschehen voraushaben sollte.* Der Vitalist riskiert dabei jedesmal, daß eine der genannten Analogien ihn mindestens zu sehr viel präzisierer Einschränkung zwingt, oder daß eine wirklich gefundene physikalisch-chemische Erklärung wie bei der Gärung ihn ganz widerlegt. Natürlich ist es leicht, heute noch eine ganze Reihe von Vorgängen anzuführen, bei denen von einer solchen Erklärung gar keine Rede ist, wie z. B. den Vorgang der *Regeneration* eines verloren gegangenen Teiles eines Organismus. Die von mechanistischer Seite hier beigebrachte Analogie mit dem Nachwachsen eines Kristallbruchstückes in der Mutterlauge ist selbstredend eine der oberflächlichsten Analogien, die man sich denken kann. Es ist eine durch keine Erfahrungstatsachen zu rechtfertigende Dogmatik, wenn man daraufhin auch das Regenerieren der Organismen als einen einfachen physikalisch-chemischen Vorgang nachgewiesen zu haben glaubt. Wenn aber diese Dogmatik unzulässig ist, so ist das keine Entschuldigung für die vitalistische Dogmatik, die das Gegenteil ebenso kategorisch aus der Einsicht folgern zu dürfen glaubt, daß hierbei keine Gleichheit, sondern nur eine äußerliche Ähnlichkeit der Vorgänge vorliegt. Man sollte doch endlich auf beiden Seiten einsehen, daß man seine eigene Dogmatik dadurch um nichts besser macht, daß man die des Gegners als solche aufweist. Man sollte einsehen, *daß alle Analogien uns nichts helfen, aber alle Gegenüberstellungen auch nicht,* solange wir eben über die genaueren Vorgänge in den lebenden Wesen kaum das Alleräußerlichste wirklich wissen.

Ob die Lebenserscheinungen im letzten Grunde den anorganischen Naturerscheinungen gleichartig sind, ob die lebenden Organismen *nur* ein ganz unerhört verwickeltes Spiel physikalisch-chemischer Kräfte vorstellen oder nicht, das zu unterscheiden nützen uns weder die Analogien der Mechanisten noch die Gegenüberstellungen der Vitalisten. Denn *Analogie beweist keine Identität, aber Gegensätzlichkeit beweist ebensowenig absolute Ungleichartigkeit.* Gegensätzlichkeit besteht z. B. auch zwischen den Vorgängen der sog. anorganischen Chemie und denen der organischen (Kohlenstoff-) Chemie. Aber niemand wird doch bestreiten, daß beides im Grunde auf eine und dieselbe Kategorie von chemischen Kräften hinausläuft. Es ist notwendig,

die falsche Schlußweise der Vitalisten noch an ein paar weiteren Beispielen zu verfolgen[**]. Wenn der Mechanist z. B. das Wachsen des Kristalls in der Mutterlauge mit dem Wachsen der Zelle in Parallele stellt, so wird der Vitalist darauf hinweisen, daß beide Vorgänge total verschieden seien. Denn das erstere ist eine einfache Anlagerung, das Wachtum der Zelle dagegen erfolgt durch „Intussuszeption" (von innen heraus). Hiermit hat er ganz recht. Aber folgt etwa daraus, daß diese Intussuszeption nicht auch ein, wenn auch ganz andersartiger chemisch-physikalischer Vorgang sein kann, ebensogut wie jene Anlagerung? Gibt es nicht unzählige Arten physikalischer Vorgänge?

Oder der Vitalist weist, um die Assimilation als „vitalen" Vorgang zu retten, auf die Unterschiede zwischen der Katalyse durch Enzyme von der Katalyse durch Platin oder andere anorganische Mittel hin (s. S. 211), und meint, „eine Parallelität beider sei durchaus fraglich". — Mit demselben Recht kann man sagen, eine Indigosynthese sei etwas ganz anderes als eine Mineralsynthese, und eine Parallelität beider sei durchaus fraglich. Und doch sind das alles beides ohne allen Zweifel chemische Prozesse.

Viele Vitalisten legen ganz besonderen Wert auf die Nichtumkehrbarkeit der Lebenserscheinungen und stellen ihr die Umkehrbarkeit physikalischer und chemischer Vorgänge möglichst scharf entgegen. Aber auch diese Gegenüberstellung beweist nicht im mindesten, was sie soll. Denn es trifft gar nicht so schlankweg zu, daß die anorganischen Prozesse immer umkehrbar seien. Gibt es etwa umgekehrte Gewitter? Oder kann man die Vorgänge in einer Gasanstalt rückwärts gehen lassen? Nein, sondern je verwickelter ein physikalisch-chemisches System ist, um so sicherer ist, daß die in ihm sich abspielenden Vorgänge in ihrer Gesamtheit nicht wieder rückgängig zu machen sind (vgl. dazu auch das Kapitel: Entropiesatz). Wer will beweisen, daß die lebende Zelle nicht ein solches unermeßlich verwickeltes System ist? Und können wir andererseits nicht einzelne kleinere Teile des Prozesses hier, wie überall, rückgängig machen? Wer den unheimlich komplizierten Bau der Zelle einem einfachsten anorganischen System, etwa Magnesium und Sauerstoff, gegenüberstellt und nun folgert: Die beiden Reaktionen: $Mg + O = MgO$ und $MgO = Mg + O$ lassen sich beliebig umkehren, die Lebensvorgänge nicht, also sind beide total verschiedenartig — der vergewaltigt die Naturwissenschaft in seiner Gegenüberstellung gerade so, wie der Mechanist, der folgert: Eine

Zelle wächst in der Nährflüssigkeit, ein Kristall „wächst“ in der Mutterlauge, also sind beide Vorgänge gleichartig.

Oder, um noch ein letztes, vielleicht das am meisten angeführte Beispiel zu nennen: der Vitalist verweist darauf, daß eine Maschine theoretisch wenigstens beliebig lange funktionieren könnte und müßte, die so beschaffen sei, daß sie ihre abgenutzten Teile, ebenso wie das Betriebsmaterial selbständig aus umliegenden Vorräten erneuerte. Dahingegen sei alles Leben schließlich erfahrungsgemäß dem unvermeidlichen Tode verfallen. Auch könne eine Maschine beliebig lange stillstehen, um dann ebenso wie früher, wieder in Gang gesetzt zu werden, während bei zu lange dauerndem Stillstand des Lebens dieses schließlich unweigerlich erlösche. — Allein 1. Auch eine Maschine rostet bei zu langem Stillstand ein und geht dann nicht mehr, und praktisch wird erfahrungsgemäß auch jede Maschine endlich trotz aller Reparaturen „zu alt“, und 2. Es ist nicht zu entscheiden, ob in denjenigen Formen der Organismen, die scheinbar vollkommen leblos sind (Dauerformen: Eier, Sporen usw.) sich noch minimale Umsetzungen abspielen, oder ob wirklich der Vorgang*) vollkommen stillsteht. Für letzteres spricht wenigstens die erstaunlich lange Zeit, die solche Dauerformen aushalten können. Es ist in neuester Zeit einwandfrei konstatiert, daß Samenkörner bis zu 60 Jahren, Bakterien sogar bis zu 92 Jahren lebensfähig bleiben können. Dies genügt, wenn auch die berühmten ägyptischen Weizenkörner sich als Schwindel seitens der Eingeborenen herausgestellt haben, um doch eine Dauer des Stillstandes zu verbürgen, die so groß ist, daß wir uns kaum einen dementsprechend winzigen inneren Energieumsatz vorstellen können. Und wenn schließlich dann doch das Leben oder besser die Lebensfähigkeit erlischt — nun, ist es nicht die einfachste und nächstliegende Erklärung, daß es der stillstehenden Maschine schließlich hier wie überall ergangen ist: sie ist durch äußere Einflüsse eingerostet? Von einer absoluten Isolation gegen die Außenwelt kann doch auch bei noch so gut geschützten Samenkörnern usw. keine Rede sein.

Unser Resultat ist somit dieses: Es ist durchaus berechtigt, wenn die Vitalisten sagen, „Analogien dürfen niemals dazu gemißbraucht werden, um die Gleichartigkeit verschiedenen Geschehens zu beweisen“, aber es ist auch ebenso berechtigt, wenn wir fortfahren: Gegenüberstellungen

*) Wenigstens der für das „Leben“ in Betracht kommende Anteil, nicht dagegen die niemals ganz zu vermeidenden Störungen von außen.

dürfen niemals dazu gemißbraucht werden, um die völlige Unvergleichbarkeit verschiedenen Geschehens zu beweisen. Wir müssen uns zu einem ehrlichen Non liquet entschließen und warten lernen. Solange wir nicht sagen können, was Physik und Chemie zur Erklärung der Lebenserscheinungen leisten können — und das können wir längst nicht auch nur annähernd —, so lange können wir erst recht nicht sagen, was sie nicht leisten können. Solange wir noch Jahr für Jahr die ungeahntesten Aufklärungen biologischer Erscheinungen, wie z. B. der Assimilation, durch chemische oder physikalische Gesetze erleben, kann kein Mensch prophezeien, wie weit sich das Gebiet dieser Aufklärungen erstrecken wird. — Nur das eine kann man sagen, daß es für den Vitalismus auf alle Fälle eine äußerst bedenkliche Sache ist, wenn er diesen oder jenen einzelnen Vorgang als physikalisch unerklärbar für die Lebenskraft oder die „Dominanten" usw. beansprucht. Dabei setzt er sich jedesmal der Gefahr einer neuen Widerlegung aus. Viel sicherer wird seine Stellung, wenn er nicht die einzelnen Vorgänge als solche, sondern die Tatsache des Ineinanderarbeitens aller dieser Teilvorgänge und zwar des zweckmäßigen, der Erhaltung des Individuums und der Art dienenden Ineinanderarbeitens seiner Beweisführung zugrunde legt, also nicht auf das Funktionieren des fertigen Organismus, sondern auf die Existenz solcher unheimlich verwickelten Maschinerien überhaupt den Hauptton legt. Damit wäre er aber auf die zweite der oben erwähnten Fragen, das Problem der Lebensentstehung, zurückgeworfen. Es sei hier nochmals bemerkt, daß wir hier von den psychischen Erscheinungen zunächst abgesehen haben.)

Nehmen wir nun einmal vorläufig den Mechanismus in bezug auf die sichtbaren Lebenserscheinungen als giltig an (daß die Annahme notwendig wäre, will ich nicht behaupten), so bleibt, wie oben dargelegt, doch die eben genannte Frage,

Das Problem der Lebensentstehung

hiervon ganz unberührt. Wir haben also uns nunmehr die Frage vorzulegen, was die Physik und Chemie zur Lösung dieses Problems beitragen können bzw. schon beigetragen haben. Soll man das Gesamtergebnis vorwegnehmen, so kann man vielleicht sagen, daß die Erfolge der mechanistischen Auffassung der Lebenserscheinungen selbst den Boden zu untergraben scheinen für eine eben solche Auffassung des jetzt in Rede stehenden Pro-

blems. Ist nämlich die Zelle, was sie nach mechanistischer Ansicht doch sein soll, wirklich nichts als eine unerhört verwickelte physikalisch-chemische Maschinerie, so wird die Wahrscheinlichkeit ihres Entstehens aus bloß physikalisch-chemischen Kräften immer geringer, je weiter wir in das unermeßlich komplizierte Getriebe eindringen. Wenn noch vor 20—30 Jahren die Lehre von der „Urzeugung" als ausgemachte Sache gegolten hat, so hat sich jetzt, wo man mit immer feineren Hilfsmitteln erst einen Einblick in die feineren Differenzierungen innerhalb der einfachsten Zellen getan hat, das Blatt entschieden gewendet. Die meisten Naturforscher sprechen überhaupt nicht gerne von dieser Frage, nur ein Teil vertritt noch — aber nicht aus Erfahrungs-, sondern aus allgemeinen Gründen — die Urzeugung, ein großer Teil neigt der sog. Panspermielehre, der Lehre von der Ewigkeit des Lebens (s. u.) zu. Versuchen wir uns die Hauptbedenken und Gegenargumente klar zu machen.

Die Verwickeltheit des Baues einer lebenden Zelle betrifft *erstens schon das chemische Material* und *zweitens die Struktur des aus diesem aufgebauten Zellenleibes.*

a) Die chemischen Substanzen, die wir unter dem Namen „Plasmastoffe" oder spezieller: Nukleine, Globuline, Albumine usw. zusammenfassen, sind, wie schon S. 210 erwähnt, durchweg so verwickelt gebaut, daß wir trotz E. *Fischers* „Eiweißsynthesen" bisher kaum einen Anfang zu ihrer Erforschung gemacht haben. Aber nehmen wir immerhin an, diese Forschungen seien glücklich zu Ende gebracht, es liege uns die Konstitution der wichtigeren Plasmasubstanzen klar vor Augen, es sei sogar gelungen, sie synthetisch herzustellen. Daß das im Bereich der *Möglichkeit* liegt, kann wohl nicht bestritten werden. Aber nun vergegenwärtige man sich einmal, welche enorme Summe von Mühe und Kenntnissen etwa zur Herstellung eines bestimmten Enzyms nötig sein würde, welche unheimliche Zahl von genau einzuhaltenden Bedingungen nacheinander und gleichzeitig erfüllt sein müßte, um das Gewünschte zustande zu bringen. Je größer nämlich die Zahl der Atome in einem Molekül ist — und bei den Eiweißstoffen beträgt sie sicher einige Hunderte bis Tausende — um so größer ist im allgemeinen die Tendenz dieses verwickelten Moleküls zum Zerfall. Im Laboratorium ist der spiritus rector natürlich der Chemiker, der im richtigen Augenblick bei der richtigen Temperatur die richtigen Flüssigkeiten in der richtigen Konzentration mischt usw. Wer aber soll in der toten Natur seine Stelle vertreten? In der *lebenden* Zelle spielen, wenn wir uns auf den

mechanistischen Standpunkt der „Maschinentheorie" stellen, die „Maschinenbedingungen", d. i. etwa die vorhandenen Enzyme, diese Rolle. Hier aber handelt es sich ja nun gerade um die Frage, woher diese selbst gekommen sind. Man hat gesagt: Nun, das hat sich eben allmählich zu immer höheren und verwickelteren Gruppierungen gesteigert — es ist nur das eine sehr große Bedenken dagegen einzuwenden, daß wir das Leben nicht anders als gerade erst an den verwickeltsten aller Stoffe kennen, und guten Grund haben anzunehmen, daß die Lebensfunktionen überhaupt auch erst mit so komplizierten Stoffen möglich werden. Woher aber nun diese, wenn doch schon weit einfachere als sie in der Regel nur die Tendenz zum Zerfallen, nicht aber zum Aufbauen bekunden? Sinkt nicht die Wahrscheinlichkeit, daß auch nur das chemische Material, das die unentbehrliche Grundlage alles Lebens bildet, „von selbst" entstanden sei, damit auf Null herab?

Man hat auf vitalistischer Seite oft diesen Schluß gezogen, und es ist ihm wirklich eine gewisse einleuchtende Kraft nicht abzusprechen. Daß diese Sache für den Mechanismus eine recht harte Nuß ist, steht außer Zweifel. Aber die Gerechtigkeit erfordert, daß man doch neben der Regel die Ausnahmen nicht ganz vernachlässigt, also auch jene, wenn auch vereinzelten Fälle, nicht ganz ignoriert, wo sogleich ziemlich verwickelte Produkte doch unter verhältnismäßig recht einfachen Bedingungen entstehen, die wohl irgendwo und irgendwann auch einmal in der anorganischen Natur erfüllt sein konnten und können. Bei der weittragenden Bedeutung, die hier jede Kleinigkeit gewinnen kann, ist es nötig, daß wir auch darauf mit ein paar Worten eingehen. Es sind hauptsächlich zwei Gruppen von Tatsachen, die da erwähnt werden müssen. Einmal kennt man schon seit langem manche Gruppen organischer Stoffe, denen die obengenannte „destruktive Tendenz" keineswegs ohne weiteres zukommt, die vielmehr eine ganz entschiedene Neigung zur Bildung verwickelterer Moleküle aus einfachen zeigen. In erster Linie stehen da die sog. Aldehyde (und Ketone), zu denen nun auch gerade derjenige Stoff gehört, der sich bei der Assimilation der Kohlensäure in den grünen Pflanzenteilen aller Wahrscheinlichkeit nach zuerst bildet, der Formaldehyd CH_2O, der aber ohne allen Zweifel auch in der toten Natur leicht einmal irgendwo entstehen kann (z. B. aus Kohlenoxyd und Wasserstoff $CO + H_2$). Es hat sich gezeigt, daß sich z. B. durch einfache Einwirkung von Kalk, überhaupt von basischen Stoffen auf Formal-

dehyd verwickelte Stoffgemische bilden, die unter anderem mindestens einen richtigen Zucker, die sog. Acrose $C_6H_{12}O_6$ enthalten (Butlerow, Löw, Fischer). Dies ist aber keineswegs die einzige derartige Reaktion, vielmehr zeigen alle Aldehyde mehr oder weniger die Neigung, sich in dieser Weise zu „polymerisieren“, d. h. ihre einfachen Moleküle zu vielfachen zusammenzufügen.

Ähnlich liegt die Sache mit den Verbindungen des Cyans, d. i. der einwertigen Atomgruppe CN, (deren Wasserstoffverbindung HCN die Blausäure ist). Cyanverbindungen entstehen tatsächlich verhältnismäßig leicht aus anorganischem Material und könnten dann wohl auch ohne allzu große Schwierigkeiten in organische Stoffe wie Ameisensäure u. a. übergehen. Wenn nun auch Pflügers Hypothese, daß auf diesem letzteren Wege die Plasmasubstanz entstanden sei, mehr als gewagt ist, so wird man doch sagen dürfen, daß ganz allgemein Synthesen dieser oder der vorgenannten Art und auch auf vielleicht manchen anderen Wegen doch wohl auch in der freien Natur unter geeigneten Bedingungen vorkommen können und wahrscheinlich also auch zu irgend einer Zeit einmal auf der Erde vorgekommen sein werden. Es muß hier insbesondere auch noch einmal an die schon oben (S. 214) erwähnten Synthesen von Kohlehydraten durch ultraviolettes Licht erinnert werden. Auf diesem Wege könnten z. B. unter Umständen „von selbst“ ganze Tonnen Zucker entstanden sein. Sollten weitere Forschungen noch mehr derartige Ergebnisse bringen, vor allem auch hinsichtlich der Einbeziehung des Stickstoffs in die aufsteigende Reihe der Synthesen, so würde sich die Unwahrscheinlichkeit der freiwilligen Entstehung von Plasma*substanzen* allerdings erheblich verringern, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß jedenfalls die Sache um so schwieriger wird, eine je höhere Stufe schon erreicht ist.

Vorläufig läßt sich darüber also nichts absolut Sicheres sagen, wohl aber können wir auch hier wieder lernen, *wie äußerst vorsichtig man stets mit Schlüssen aus dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft sein muß, wenn es sich darum handelt, daß diese Schlüsse etwas als „unmöglich“ beweisen sollen.* Der ältere Vitalismus vor 1828 hatte auch ein gewisses Recht, die Unmöglichkeit oder Unwahrscheinlichkeit der künstlichen Herstellung organischer Stoffe aus den „Ergebnissen der Wissenschaft“ zu folgern — und doch warf ihn Wöhlers Harnstoffsynthese mit einem Schlage um. Der Grund ist leicht einzusehen. *Es war eben falsch, etwas*

als ein positives Ergebnis der Wissenschaft hinzustellen, was in Wahrheit gar kein Ergebnis war. Man verwechselte die beiden Sätze: „Es hat sich ergeben, daß nicht ..." und: „Es hat sich nicht ergeben, daß" die organischen Verbindungen künstlich herstellbar sind. Nur das letztere war bis 1828 richtig, konnte aber jeden Augenblick durch einen weiteren Fortschritt richtiggestellt werden. Das erste ist eine logisch nicht zu rechtfertigende Umdeutung des praktischen Fehlens eines Ergebnisses in das dogmatische „Ergebnis" eines dauernden Nichtkönnens, der alte, aber immer neue Fehler der Verwechslung des Ignoramus mit dem Ignorabimus. — Wollen wir also diesem Fehler entgehen, so dürfen wir heute, soviel ich sehe, nicht dogmatisch die Unmöglichkeit oder auch nur unendliche Unwahrscheinlichkeit der natürlichen Eiweißsynthese erklären, sondern können nur feststellen, daß bisher wenig nach dieser Richtung hin sich ergeben hat. Ob die Zukunft mehr bringen wird, darüber können wir gar nichts sagen, wir müssen es einfach abwarten.

b) Viel unwahrscheinlicher aber als die freiwillige Entstehung von Plasmasubstanzen erscheint nun der zweite zur mechanistischen „Urzeugung" notwendige Schritt, nämlich die Bildung der Organisation dieser Plasmastoffe, wodurch sie eben erst zum „Plasma" (d. h. Bildungsstoff) werden. Daß eine bloße Anhäufung von solchen Stoffen noch lange keine lebende Zelle ist, beweist uns ja am deutlichsten die tote Zelle. Vielmehr wäre mit der Herstellung der Stoffe erst der kleinste Schritt zur Erzeugung lebender Wesen, die Beschaffung des Baumaterials ermöglicht, und nun käme erst die Hauptaufgabe, nämlich dieses Material in jener außerordentlich feinen zweckentsprechenden Anordnung zu verteilen und jenen eigentümlichen dynamischen Gleichgewichtszustand herzustellen, der das Leben ausmacht. So wenig aus einem bloßen Haufen von Holz, Messing, Eisen usw. eine Maschine wird, so wenig dürfen wir ohne weiteres erwarten, aus bloßen Plasmastoffen eine Zelle werden zu sehen. Nehmen wir selbst an, der Bestand und das Funktionieren der Zelle sei ein bloßes Spiel physikalischer Kräfte — wir sagten schon oben, daß damit die Entstehung der Zelle noch ebensowenig auch als Spiel solcher Kräfte erkannt ist, wie die Entstehung eines Elektrizitätswerkes sich aus den Kräften erklärt, die bei seinem Betriebe im Spiel sind.

Was wir nun bisher von der lebenden Zelle wissen, ist nur dies, daß sie einen sehr viel verwickelteren Bau haben muß, als uns bisher auch die fein-

sten mikroskopischen Untersuchungen erkennen ließen. Die einzige Erscheinung der Regenerationsfähigkeit genügt ja schon, um zu zeigen, wie oberflächlich selbst der Vergleich mit einer Maschine in jedem Falle ist. Man denke sich eine Maschine, die, mitten durchgeteilt, aus dem umliegenden Material das Ganze regeneriert — es fehlt uns darüber jeder Schatten einer Vorstellung. Wir können nichts als die nackte Tatsache feststellen. Ein Fortschritt unserer Erkenntnis ist hier wie überall nur zu erhoffen durch systematisches biologisches Experimentieren. Was darin bisher geleistet ist, ist zwar ein sehr schöner Anfang, aber doch eben nur ein Anfang, der irgendwelche allgemeineren Schlüsse schlechterdings noch nicht zuläßt. Das einzige, was wir mit Sicherheit sagen können, ist, daß auch die primitivste uns bekannte lebende Zelle schon ein Organismus im vollsten Sinne des Worts ist, ein Ganzes, in dem jeder einzelne Teil bestimmten Zwecken dient, ein Ganzes, das zwar auf der einen Seite eine erstaunliche Dehnbarkeit, Anpassungsfähigkeit und Widerstandskraft besitzt, aber doch auf der anderen Seite einen so verwickelten Bau besitzt, daß dieser nicht vernichtet werden kann, ohne das Wesentlichste zu zerstören, d. h. das „Leben" unmöglich zu machen. Wie eine solche ganz unbegreiflich feine innere Struktur aus physikalisch-chemischen Kräften von selbst entstehen sollte, ist uns entgegen allen Behauptungen gewisser dogmatischer Mechanisten einstweilen gänzlich unfaßbar. Es erscheint uns auf den ersten Blick genau so unwahrscheinlich, wie daß beim Zusammenschütteln von Buchstaben ein Gedicht oder beim Zusammengießen von Farben ein Gemälde oder beim Zusammenschmelzen von Messing und Eisen eine Taschenuhr entstehen sollte. — Trotz alledem wird der vorsichtige Beurteiler auch den Vitalisten nicht beipflichten, die die Annahme einer (mechanistischen) Urzeugung daraufhin glattweg für unmöglich erklären. Wir werden vielmehr bedenken müssen, daß ein sehr viel weiter als heute vorgeschrittenes Studium der das Plasma bildenden Stoffe uns doch vielleicht einmal eine Einsicht öffnen könnte in die Notwendigkeit gewisser Anordnungen und Strukturen der Moleküle untereinander. Wenn die von Molekül zu Molekül ausgeübten, uns in ihrer eigentlichen Natur einstweilen noch ganz unbekannten Kräfte bei den einfacheren chemischen Verbindungen zu den einfacheren Kristallformen führen, wenn bei vielen verwickelteren organischen Verbindungen diese Molekularkräfte das eigenartige Phänomen der „flüssigen Kristalle" Lehmans erzeugen, so ist es ja immerhin nicht ganz undenkbar, daß bei den noch ganz unermeßlich viel komplizierteren

Plasmastoffen, sobald sie in den richtigen Bedingungen zusammentreffen, die Zelle sozusagen als die natürliche Form resultiert. „Es ist nicht ganz undenkbar“, sage ich, denn wir haben bisher keinerlei Kenntnisse davon, wie etwa ein Eiweißmolekül auf ein anderes richtend oder verschiebend wirkt; daß es aber auch nur halbwegs wahrscheinlich sei, möchte denn doch eine allzu gewagte Behauptung sein. Nur eine dogmatische Verneinung darf auch hier nicht als „Resultat der Wissenschaft“ hingestellt werden.

Und so ist denn auch in puncto Lebensentstehung dies unser Gesamtergebnis, daß der Streit zwischen Mechanismus und Vitalismus vorläufig ein Streit um des Kaisers Bart ist. Wir können nun einmal nicht sagen, was die physikalische und chemische Forschung in bezug auf das Lebensproblem leisten können, ehe wir die fraglichen Erkenntnisse wenigstens zu einem so großen Teil besitzen, daß sich daraus ein einigermaßen sicherer Überblick gewinnen läßt. Davon kann bis auf den heutigen Tag aber nicht entfernt die Rede sein, und so bleibt uns nichts übrig, als ein einfaches ehrliches: Non liquet. Höchstens könnte man sagen, daß mit Bezug auf die Lebenserscheinungen bisher der Mechanismus mehrfach siegreich gegenüber dem Vitalismus vorgedrungen ist, daß dafür aber umgekehrt die Aussichten für den Mechanismus in bezug auf die Lebensentstehung mit jeder tieferen Einsicht in die Feinheiten der Zellenstruktur geringer geworden sind. — Wem dieses sehr unbestimmte Ergebnis nun nicht genügt, der muß sich freilich an die wenden, die es schon heute ganz genau wissen. Es gibt ja solche in beiden Lagern zur Genüge, von denen die einen, wie Frenssen so schön sagt, „dabei gewesen sind, als die Urzelle Hochzeit machte“ und die anderen zugesehen haben, wie „Gott in den Knien lag und wehmütig lächelnd die Menschenseele schuf“. Wir aber halten es in diesem Falle einmal mit Mach, der sagt: „Eine zureichende Weltanschauung kann uns nicht geschenkt werden, wir müssen sie erwerben . . . Die höchste Philosophie des Naturforschers ist es, eine unvollendete Kenntnis zu ertragen und sie einer scheinbar abgeschlossenen, aber unzulänglichen vorzuziehen“, — wobei wir freilich das allgemeine „Weltanschauung“ durch das speziellere „Naturphilosophie“ ersetzen wollen. Es soll unten noch gezeigt werden, daß deshalb die Weltanschauung als Ganzes genommen, sehr wohl einen gewissen Abschluß sich leisten kann, auch wenn sie so manchen Einzelposten noch unbestimmt lassen muß. — Ich freue mich, hierin mit einem der erfolgreichsten und bedeutendsten

Biologen der Gegenwart, H. M o l i s c h in Wien, völlig übereinzustimmen, der das Problem der Lebensentstehung in einem trefflichen Aufsatz als „unentscheidbar“, ein „zur Zeit unlösbares Problem“ bezeichnet[96]. Wie weit läßt eine derartige ruhig objektive, rein wissenschaftliche Betrachtung die so weit verbreitete Agitationsliteratur sowohl der mechanistischen als der vitalistischen Seite hinter sich. —

Nachdem wir so die wesentlichsten schon durch die einfache lebende Zelle aufgegebenen biologischen Grundprobleme uns kurz vergegenwärtigt haben, wenden wir uns zu denjenigen Fragen, welche in den E r s c h e i - n u n g e n d e r V e r m e h r u n g u n d F o r t p f l a n z u n g liegen Auf diesem Gebiete läuft die Biologie der Einzelligen, wie schon S. 217 erwähnt, ein großes Stück weit mit der der Mehrzelligen zusammen, da auch bei diesen letzteren das fertige Wesen stets durch den Vorgang der Zellteilung aus einer einfachen (befruchteten) Eizelle entsteht. Das Hauptproblem, um das sich die Erörterung zunächst drehen muß, ist

Das Problem der Formbestimmung (Determination).

Zunächst ist jedoch nötig, den M e c h a n i s m u s d e r Z e l l t e i l u n g und die V o r g ä n g e b e i d e r E n t w i c k l u n g e i n e s M e h r - z e l l i g e n kurz zu erläutern. Als besonders geeignetes Material für Beobachtungen und Versuche auf diesem Gebiete pflegt man die Eier von gewissen Wurmarten (Spulwurm Ascaris), Stachelhäutern (Seeigel) und Amphibien (Fröschen) zu benutzen.

In der Zelle unterscheiden wir, wie schon oben gesagt, Kern und Plasma. Der Kern selbst aber ist nun wiederum innerlich deutlich in verschiedene Bestandteile differenziert, die man durch geeignete Färbemethoden nachweisen kann. E i n e n der gut färbbaren Bestandteile des Kernes nennt man Chromatin (von chroma = Farbe, der Stoff selbst ist aber farblos !). Das Chromatin erfüllt den ganzen Raum des Zellkernes gleich einem feinmaschigen Netz (s. Abb. 33). Neben dem mit Chromatin erfüllten Kern unterscheidet man in der Zelle ein kleines Körperchen, das man wegen seiner sogleich zu besprechenden Funktion bei der Zellteilung „Zentralkörperchen“ oder „Richtungskörperchen“, (Centrosoma) nennt. Schickt sich nun eine Zelle zur Teilung an, so beobachtet man als erstes, daß das Zentralkörperchen sich in zwei Körperchen teilt, die zunächst nahe beieinander liegen und dann allmählich an zwei gegenüberliegende Stellen nahe der Zellenwand wandern. Während dies geschieht, wird die Grenze zwischen Kern und Plasma immer undeutlicher, gleichzeitig bildet sich in der Zellplasmamasse eine von den beiden Zentralkörperchen ausgehende radiale Zeichnung aus, und zieht sich das

…n wenige, schleifenartige Fäden zusammen, deren Anzahl … einer bestimmten Art stets konstant ist. Das ganze Bild …enblick auffällig an gewisse magnetische Kraftlinienbilder. … Hauptakt der Teilung. Die Chromatinfäden, die man jetzt …n nennt, ordnen sich sämtlich in der Äquatorialebene (s. …n sich sodann der Länge nach, die Teile weichen auseinander, gezogen von den Zentralkörperchen; der ganze Zellenleib schnürt …n diesen Hälften ein; bald stellt sich auch die Grenze zwischen Kern



Abb. 34. Kernteilungsvorgang (Mitotische Zellteilung).

und Plasma wieder in jeder Hälfte her, die Chromosomen lösen sich wieder in (jetzt zwei) Netze von Chromatin auf, und wir haben, nachdem der letzte Zusammenhang gelöst ist, jetzt zwei Zellen von genau derselben Beschaffenheit, wie die ursprüngliche. Jede der beiden Zellen hat genau die Hälfte des Chromatins, von jedem Chromosoma die eine Längshälfte, mitbekommen.

Im Falle geschlechtlicher Fortpflanzung, wo die sich teilende Eizelle zuerst befruchtet worden ist, verläuft der Vorgang im wesentlichen ähnlich; jedoch ist dabei die besonders wichtige Feststellung gemacht worden, daß von der gesamten Chromatinmasse des Ei- sowie des Samenkernes beiderseits die Hälfte in jede der Tochterzellen übergeht, so daß also auch bei jeder weiteren Teilung jede neue Zelle stets sich mit ihrer Schwesterzelle genau in die väterlichen sowohl als in die mütterlichen Chromosomen teilt. Hiernach wird die Figurenreihe (Abb. 35) wohl ohne weiteres verständlich sein. Daß bei der Vereinigung zweier Geschlechtszellen die Zahl der Chromosomen nicht auf das Doppelte der für die betr. Art normalen Zahl steigt, wird dadurch verhindert, daß die Geschlechtszellen stets gerade halb so viel Chromosomen enthalten als die Körperzellen. Sie entstehen nämlich durch die beiden sog. Reifeteilungen aus ursprünglich in den Keimdrüsen enthaltenen Zellen,

wobei infolge eines eigentümlichen von dem normalen abweichenden Teilungsmodus die entstehende Samen- bzw. Eizelle schließlich gerade die Hälfte der nor-

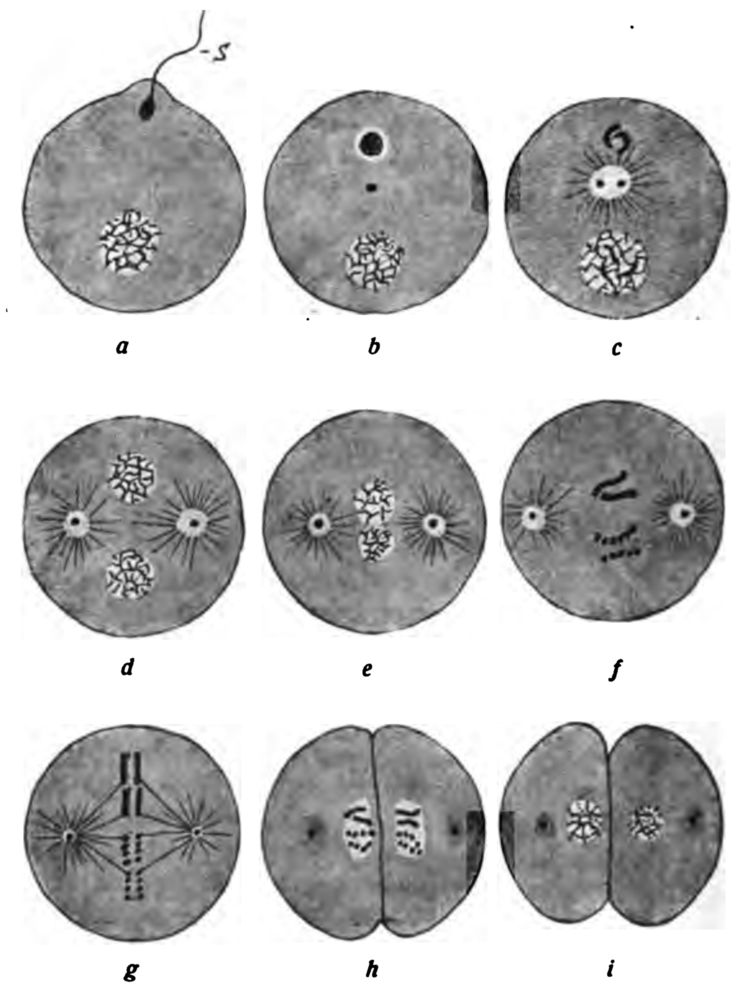


Abb. 35. Befruchtung und erste Teilung einer Eizelle.

malen Chromosomenzahl erhält (Abb. 41). Auf diesen Tatsachen beruht vielleicht auch die Erklärung der sog. Mendelschen Bastardierungsregel (s. u.).

Durch solche Zellteilungen entstehen nun auch alle vierzelligen Organismen aus einer bzw. zwei miteinander verschmolzenen Zellen. Aus einer Zelle werden zuerst zwei, dann vier, dann acht, sechzehn usw., schließlich entsteht ein kugeliger

Zellenhaufen, welcher M o r u l a (Maulbeere) genannt wird. Durch Abscheidung von Flüssigkeit wird diese (bei Tieren) zu einer Hohlkugel, B l a s t u l a (Bläschen) genannt, welche sich durch Einstülpung in die sog. G a s t r u l a verwandelt. Bei letzterem Vorgang, der sog. Gastrulation, entstehen somit zwei verschiedene Lager von Zellen, das sog. i n n e r e und ä u ß e r e K e i m b l a t t oder E n t o-

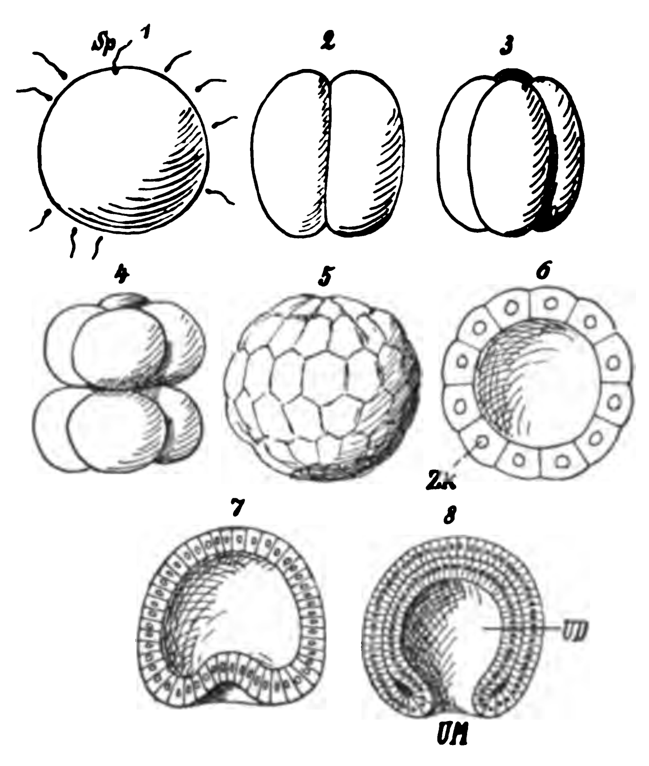


Abb. 36. Schema der ersten Entwicklung eines vielzelligen Tieres.
(Aus H e s s e, Abstimmungslehre und Darwinismus, Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin.)

und E k t o b l a s t genannt, zu denen sich bei allen höheren Tieren sehr bald noch eine mittlere Lage, das M e s o b l a s t genannt, gesellt. Die entstandene Höhlung heißt U r d a r m (Abb. 36). Das ganze Gebilde erinnert in diesem Stadium auffällig an die Form der einfachsten Hohltiere (Polypen und Quallen), welche ebenfalls aus einem nur in zwei Zellschichten, dem Ento- und Ektoderm, gebildeten Hohlraum (mit Anhängseln) bestehen. Die weitere Entwicklung bei höheren Tieren zu verfolgen ist hier nicht nötig. — Bei den Pflanzen geht schon vom Morulastadium aus die Entwicklung andere Bahnen. — Allgemein gilt, daß die Unter-

schiede in der Embryonalentwicklung um so früher bemerkbar sind, je weiter die betr. Organismen in der systematischen Verwandtschaft voneinander getrennt stehen.

Von den schönen Versuchen L ö b s , B a t a i l l o n s , H e r t w i g s u. a., die die Möglichkeit einer k ü n s t l i c h e n Ingangsetzung dieses Entwicklungsprozesses ohne Befruchtung — künstliche P a r t h e n o g e n e s i s — nachwiesen, war schon oben die Rede (s. S. 223). Hier mag nun ergänzend hinzugefügt werden, daß neuerdings auch das lange gesuchte Gegenstück zur Parthenogenesis, die sog. „E p h e b o g e n e s i s", d. i. die Entwicklung eines einzelnen m ä n n l i c h e n Keimes gelungen zu sein scheint, indem man umgekehrt, wie bei dem oben erwähnten Hertwigschen Versuch die unbeschädigte Samenzelle in eine Eizelle mit zerstörtem Kern eindringen ließ. Letztere liefert dann nur das unentbehrliche Plasma, welches der hauptsächlich die Vererbungssubstanz enthaltenden Samenzelle offenbar fehlt. Daß eine solche einseitige Entwicklung auch aus dem männlichen Kern allein erfolgen kann, war zu erwarten, denn nach der ganzen Entstehung der beiderseitigen Fortpflanzungsorgane muß wohl den Produkten der Geschlechtsdrüsen auch eine im allgemeinen analoge Bedeutung bei beiden Geschlechtern zuerkannt werden. Die Eizelle und die Samenzellen erscheinen so als zwei in verschiedener Richtung spezialisierte, aber im Prinzip gleichartige Keimzellen, die unter Umständen, vor allem bei hinreichender Größe und bei genügender Nahrung auch für sich allein entwicklungsfähig sind, in der Regel aber nur zur Entwicklung kommen, wenn die eine das ihr fehlende Element aus dem anderen zur Ergänzung mitbekommt. Bei dem die Regel bildenden sehr ungleichen Größenverhältnis zwischen der weiblichen und der männlichen Keimzelle wird es meist zu einer Einzelentwicklung des männlichen Keimes schon aus Mangel an Plasmastoff nicht kommen können und demselben infolgedessen auch mehr nur eine a u s l ö s e n d e Rolle (s. u.) bei der normalen Befruchtung zufallen. Die Tatsache jedoch, daß Ephebogenese in einzelnen besonders günstigen Fällen möglich ist, beweist ja genugsam, daß an sich auch der männliche Keim als Anfang eines neuen Individuums denkbar ist, und daß somit die Zellkonjugation wirklich eine Verschmelzung zweier sonst gesonderter Entwicklungsbahnen zu einer einzigen darstellt, daß hier wirklich aus zwei Individuen eins wird.

Dies ist von vornherein auch dann eine naheliegende Vorstellung, wenn man die Fortpflanzungsverhältnisse bei den niedersten einzelligen und mehr-

zelligen Wesen zum Vergleich mit heranzieht, bei denen alle möglichen Übergänge von dem einfachen Austausch eines Teils der Kernsubstanz zweier Individuen bis zur völligen Verschmelzung zweier gleichartiger oder ungleichartiger Zellen oder Zellprodukte (Gameten) in geradezu unerschöpflicher Mannigfaltigkeit der Erscheinungen im einzelnen vorkommen[100].

Eine Bestätigung dieser Auffassung wird weiter geliefert durch zahlreiche Versuche der neueren „Entwicklungsmechanik", die dartun, nicht nur, daß man unter bestimmten Bedingungen aus einem befruchteten Ei zwei oder mehr vollständige, wenn auch kleinere Individuen erhalten kann, sondern auch umgekehrt, daß man zwei Eier zu einer einheitlichen Entwicklungsbahn verschmelzen kann (Driesch, zur Strassen u. a.). Ja es haben sich selbst Teile verschiedenartiger Eier zu einer einzigen Entwicklung zusammenschweißen lassen. Wegen der außerordentlichen Wichtigkeit dieser Versuche für die gesamte theoretische Biologie, insbesondere die Vererbungslehre, ist es notwendig, dabei noch einen Augenblick zu verweilen. Eins der ersten Experimente dieser Art ist Drieschs berühmt gewordener Versuch der Teilung von Seeigeleiern. Nachdem ein befruchtetes Seeigelei die erste Teilung vollzogen hatte, wurden beide Tochterzellen künstlich voneinander getrennt. Aus beiden entwickelten sich dann schließlich vollständige Larven, nicht etwa halbe oder verstümmelte, nur von geringerer, etwa der Hälfte der normalen Größe. Derselbe Versuch glückte auch noch mit den vier Teilzellen nach der zweiten Teilung, ja selbst beim Achterstadium ließen sich die Anfänge einer solchen Entwicklung noch erkennen. Die Wiederholung desselben Versuchs an anderen Tieren ergab vielfach ähnliche, in manchen Fällen aber auch abweichende Resultate. So entwickeln sich bei Rippenquallen aus beiden Teilhälften nur Halbembryonen, hingegen bei Medusen und dem Lanzettfischchen (Amphioxus) vollständige Individuen. In anderen Fällen, wohin neueren Untersuchungen zufolge auch der Seeigel gehört, erfolgt der Anfang der Entwicklung so, als ob die Teilzellen Teile geblieben wären, also ebenso, wie im normalen Zellverband, später aber wird durch einen offenbar mit der Regeneration in eine Reihe zu stellenden Vorgang die fehlende Hälfte wieder hinzugefügt, so daß das Ergebnis doch ein vollständiges Tier ist. Doch sei ausdrücklich erwähnt, daß in den oben genannten Fällen (Medusen, Amphioxus) u. a. nicht durch solche sekundäre Bildung, sondern von Anfang an durch Teilungen, die völlig denen der normalen Keimzelle gleichen, sich auch die isolierten Tochterzellen zu vollständigen Individuen entwickeln. Wir wer-

den auf die Bedeutung dieser Ergebnisse für das Vererbungsproblem unten zurückkommen. Einstweilen mögen sie hier nur unter dem Gesichtspunkt der „Entwicklungsmechanik", d. h. der kausalen Analyse des Entwicklungsvorgangs betrachtet werden. Es wird für unsere folgenden Erörterungen nützlich sein, zunächst einen kurzen Rückblick auf die Geschichte des Entwicklungsproblems*) zu werfen.

In früheren Jahrhunderten hat man in der Regel nichts dabei gefunden, eine Entstehung lebender Wesen aus unbelebtem Material, so die der Mücken und Frösche aus dem Sumpf, die der Maden aus dem Käse usw. anzunehmen. Selbst ein so tiefer Denker wie Aristoteles hat unbedenklich solchen uns heute grotesk erscheinenden Lehren zugestimmt. Endgültig widerlegt ist diese Lehre von der „Urzeugung" (generatio aequivoca) in dieser primitivsten Form sogar eigentlich erst durch Pasteurs oben erwähnte Untersuchungen. Es war daher ein erheblicher Fortschritt, als im 18. Jahrhundert Forscher wie Swammerdam, Spallanzani, Leeuwenhoek u. a. demgegenüber wenigstens für die höheren Tiere die Gültigkeit des Satzes omne vivum ex vivo verfochten, wenn sie diese Lehre nun auch verbinden zu müssen glaubten mit der sog. Präformations- oder Evolutionstheorie. Sie nahmen nämlich an und glaubten teilweise direkt durch Beobachtungen nachgewiesen zu haben, daß das künftige Wesen schon in Miniaturformat in den Keimzellen (Eiern bzw. Spermatozoen) drinstecke und somit nur „ausgewickelt"[101] zu werden brauche. Zwischen den Anhängern dieser Lehre entspann sich nach der Entdeckung der männlichen Spermatozoen durch Leeuwenhoek[89] allerdings eine erbitterte Fehde darüber, ob dies künftige Wesen im Ei oder im „Samentierchen" präformiert sei (Ovisten und Animalkulisten). Man hat Abbildungen aus der damaligen Zeit, die einen richtigen kleinen Menschen im Kopf des Spermatozoons „eingewickelt" zeigen. So etwas behaupteten ernst zu nehmende Forscher gesehen zu haben! Ja, man verstieg sich nun weiter zu der Absurdität der sog. Einschachtelungstheorie (Malebranche, Bonnet): In jenem Miniaturmenschen müßten schon wieder die unendlich vielen Spermatozoen des späteren Mannes enthalten sein, in diesen wieder die ∞^2 vielen der nächsten Generation usw. und ebenso rückwärts „bis zu Adam" (bzw. bei den „Ovisten" bis zu Eva) hin. Es

*) Es ist hier natürlich nur die Rede von der Entwicklung des Einzelwesens (Ontogenie), nicht von der Stammesentwicklung (Artentwicklung, Phylogenie), die unten zur Sprache kommt.

hat der ganzen Lebensarbeit eines bedeutenden Forschers bedurft, um diese unsinnige Lehre zu stürzen. Kaspar Friedrich Wolff verhalf der Lehre von der sog. Epigenesis (Neubildung) zum Siege: der Keim (das befruchtete Ei) ist überhaupt noch nicht organisiert, die Organisation entsteht erst durch die „Gefäße und Bläschen", die sich daraus nacheinander bilden, und sie besteht lediglich in dem gleichzeitigen Vorhandensein dieser Teile, die nach einem gewissen Plane geordnet sind. Für sich allein sind diese ebensowenig organisiert, wie ein Klumpen anorganischer Stoffe. Daß auch diese Lehre in dieser Form gänzlich verfehlt ist, bedarf keines Beweises. Denn so sicher wie es einerseits ist, daß in der befruchteten Eizelle nicht schon en miniature das künftige Wesen vorhanden ist, so sicher ist es andererseits, daß sie keineswegs unorganisiert ist, vielmehr, wie schon oben (S. 218) erwähnt, entsprechend der Verschiedenheit der künftig daraus werdenden Wesen ebenso fein differenziert sein muß. Das Ei eines Frosches ist von dem eines Huhnes ebenso verschieden wie der Frosch vom Huhn (Nägeli). Man pflegt heute die in einer Keimzelle oder auch in anderen teilungsfähigen Zellen, wie z. B. denen des Sproßkegels (Vegetationskegels) der Pflanzen steckenden Anlagen, vermöge deren die Teilungsvorgänge zu ganz bestimmten der betr. Art eigentümlichen Bildungen führen, meist als die Entwicklungspotenzen zu bezeichnen. Diese werden dann „aktiviert" durch die auf die Zellen ausgeübten Einflüsse. Es ist aber nicht überflüssig zu bemerken, daß diese letzteren nicht nur die sog. äußeren Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, chemische Beschaffenheit der Umgebung usw. sind, sondern daß für jede einzelne Zelle bzw. jeden Zellkomplex, der schon Teil eines Organismus ist, die anderen Teile ebenfalls als „äußere" Bedingungen zu gelten haben. Hierdurch wird die Grenze zwischen den Begriffen „innere" und „äußere" Faktoren der Entwicklung offenbar flüssig. Man erkennt dies am deutlichsten an solchen Fällen wie dem oben erörterten Teilungsversuch von Driesch. Dieselben „inneren" Anlagen, welche aufs Ganze gesehen, die normale Entwicklung eines befruchteten Seeigeleies regeln, sind es doch, die auch die eine der beiden isolierten Tochterzellen schließlich zu einem vollständigen Tier werden lassen. Bleibt jedoch diese Zelle a im Verband mit der anderen b ihr völlig gleichen, so sind es wiederum diese selben Anlagen, welche, von b auf a und umgekehrt, also als „äußere" Faktoren wirkend, aus a und b nur je einen halben Seeigel hervorgehen lassen.

Wenn man sich diese Verhältnisse einmal zunächst nach ihrer reinen Tatsächlichkeit nach allen Seiten überlegt, so wird man schwerlich große Neigung verspüren, in dem auch heute noch geführten Streit zwischen Evolution und Epigenesis Partei zu ergreifen, vielmehr von vornherein sich auf den Standpunkt zu stellen, daß unbedingt in beiden Gedankengängen ein richtiger Kern steckt. Wenn man heute von (Neu-)Evolutionisten und (Neu-)Epigenetikern spricht, so meint man damit natürlich nicht die alten Anschauungen, die längst als völlig unzulänglich aufgegeben sind. Es handelt sich vielmehr bei der modernen Evolutions- oder Präformationslehre, die ihren Hauptvertreter in A. Weismann gefunden hat, in der Hauptsache darum, daß man aus vererbungstheoretischen Gründen, die unten zur Sprache kommen werden, für die einzelnen Merkmale des späteren Individuums auch im Keime räumlich gesonderte „Determinanten" annimmt. Es soll damit auch nicht etwa gesagt sein, daß diese besonderen Teile der Keimzelle sich später zu den besonderen Organen oder „Organbezirken" entwickelten. Diese von His noch vor einigen Jahrzehnten vertretene Ansicht hat sich ebenfalls als unhaltbar erwiesen. Die „lokale Präformation" soll nur besagen, daß bestimmte Teile des Eies (bzw. des Kerns, genauer der Chromosomen) für bestimmte Merkmale verantwortlich sind. Dieser Lehre gegenüber steht die moderne epigenetische, besonders von neueren Physiologen vertretene Ansicht, daß nur qualitative, nicht aber räumliche Differenzierungen des Keimes den einzelnen Eigenschaften korrespondierend angenommen werden dürfen, aber auch nicht in ihrer Isoliertheit, sondern nur im Gesamtverband der ganzen Zellstruktur. Wie man für die einzelnen Flächengruppen eines Krystalls nicht lauter einzelne Molekülarten oder Atome verantwortlich machen kann, wie sich vielmehr die Krystallform dynamisch aus der Gesamtheit der Atomverhältnisse ergibt, so ergibt sich auch die Form des Lebewesens nur aus dem Zusammenwirken aller Bestandteile der Keimzelle und der Außenwelt. Oder, um ein anderes, schon oben erwähntes Bild zu gebrauchen: Wenn der Phonograph einen Akkord von mehreren Tönen auf die Platte einritzt, so entstehen dabei nicht mehrere Kurven, sondern nur eine, mathematisch gesprochen die „Superposition" der den einzelnen Tönen entsprechenden Kurven. Nachher bei der Abnahme des Eingeritzten hört man aber doch wieder die einzelnen Töne heraus. So könnten auch sehr wohl dem gleichen chemischen Material des Keims mehrere Eigenschaften zugleich als „Gene" (Johannsen) eingeprägt sein, ja die oben angeführten Teilungsversuche

scheinen dies direkt im Gegensatz zu jeder Annahme lokaler Präformation zu beweisen, da doch die Teile offenbar noch alle Artmerkmale enthalten, während eine räumliche Anordnung bei der Halbierung selbst halbiert werden müßte. — Da jedoch andererseits die moderne Vererbungsforschung wieder manche schwerwiegende Gründe für die lokale Präformation beigebracht hat, so möchte es doch nicht geraten sein, diese ganz und gar von vornherein abzulehnen. Vielleicht trifft ein Mittelweg das Richtige, nämlich die Annahme, daß jene fraglichen Erbeinheiten zeitweise, nämlich eben während der als Kernteilung bezeichneten Periode sich in lokal abgrenzbaren Gebieten sozusagen konzentrieren, um nachher wieder über die ganze Zelle (bzw. den Kern) verteilt zu werden. Wir kommen auf dieses Problem unten zurück.

Hier mag nun zunächst noch einiges von den wichtigsten neueren Untersuchungen zum Entwicklungsproblem hinzugefügt werden, das, wenn es auch dieses Problem bisher nicht zu lösen imstande war, doch einen Eindruck davon gibt, in welcher Weise die Forschung ihm heute von allen Seiten auf den Leib rückt. Zunächst sei da der schönen Versuche von Klebs[102] gedacht, dem es gelang, durch geeignete Variation der Bedingungen Pflanzensprosse nach Belieben z. B. zum Treiben von Blättern oder Blütenständen anzuregen. Besonders an der Dachwurz (Sempervivum) konnte er so die merkwürdigsten Bildungen erzielen. Nahe verwandt mit solchen Ergebnissen, die ähnlich auch mit zahlreichen anderen Pflanzen und auch Tieren erzielt werden können, sind die höchst wunderbaren Erfolge, welche das neuere experimentelle Studium der Regenerationserscheinungen erzielt hat[103]. So kann man durch kleine Abänderungen in der Behandlung der Wundstellen Tiere oder Pflanzen, welche bestimmte, verloren gegangene Teile regenerieren, zwingen, diese in doppelter Zahl oder nach der falschen Richtung (z. B. ein Schwanzende statt eines Kopfendes) zu regenerieren usw. Die Zahl der diesbezüglichen Untersuchungen ist Legion. Sie alle zeigen einesteils, daß oft ganz überraschend kleinen und selbst aufs höchste differenzierten Teilen eines Organismus noch die Fähigkeit der Wiederherstellung des Ganzen innewohnt, andernteils, daß in all dieser Fülle doch zweifelsohne absolut feste Gesetze herrschen, die wir freilich eben erst zu durchschauen anfangen. Wie weit das Regenerationsvermögen vielfach geht, beweisen unter den höheren Pflanzen z. B. die Begonien, die aus Bruchstücken eines Blattes eine ganze Pflanze wieder erzeugen, oder unter den Tieren gewisse

Infusorien und vor allem die Planarien (Strudelwürmer) die in beliebig kleine Stücke zerteilt werden können, deren jedes trotzdem das ganze Tier regeneriert (Abb. 37). Man kann hier den Schluß gar nicht umgehen, daß schließlich die Summe aller Entwicklungspotenzen an sich wohl in jeder einzelnen Zelle des Organismus steckt und zwischen den Keimzellen und den Körperzellen, die sich für einzelne Aufgaben spezialisiert haben, in dieser Hinsicht kein prinzipieller, sondern nur ein bei den einzelnen Arten überdies sehr wechselnder Gradunterschied besteht, so daß Regeneration, „vegetative Vermehrung" und reguläre Fortpflanzung letzten Endes doch nur verschiedene Seiten einer und derselben Sache sind, die man passend im Gegensatz zu den Differenzierungsvorgängen der normalen Entwicklung als Integrationstendenz bezeichnen kann. Die Produktion von Keimzellen erscheint so angesehen nur als eine zweckmäßige Arbeitsteilung, und wir erkennen, daß wir es in all jenen Vorgängen nicht mit ebenso vielen besonderen Rätseln, sondern nur mit einem einzigen zu tun haben, das uns freilich bisher noch völlig undurchsichtig ist. Das ist aber auch schon eine Erkenntnis, die viel mehr ist als blanke Unwissenheit. Denn nur auf diesem Wege der Zurückführung vieler Probleme auf wenige ist überhaupt naturwissenschaftliche Erkenntnis möglich. Wie verwickelt das vorliegende Problem allerdings liegt, das zeigen ganz besonders solche Fälle, wie z. B. die berühmte Regeneration der Augenlinse eines Molchs. Das Auge wächst in der embryonalen Entwicklung aus zwei ganz verschiedenen Anteilen zusammen. deren einer, der sog. „Augenbecher", vom Gehirn herstammend, die spätere Netzhaut, Aderhaut, Lederhaut und Regenbogenhaut liefert, während der andere, aus der Oberhaut in den Augenbecher sich einsenkend, die Hornhaut, die Linse und den Glaskörper liefert (Abb. 38). Bei Entfernung der Linse eines Molchs nun wird dieselbe nicht etwa von den entwicklungsgeschichtlich ihr zugehörigen Oberhautzellen her regeneriert, sondern von der Regenbogenhaut her, also aus einem schon in sehr frühen Stadien der Embryonal-

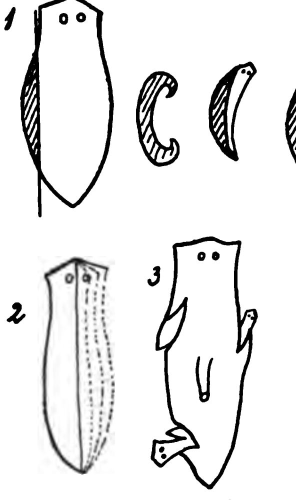


Abb. 37. Regeneration beim Strudelwurm (Planaria).

entwicklung völlig differenten Gewebe. Noch weiter geht ein derartiges Verhalten bei gewissen Regenerationsprozessen an Regenwürmern, bei denen sogar Teile, die sich sonst aus zwei verschiedenen „Keimblättern" (Entoderm und Ektoderm) bilden, aus Zellschichten regeneriert werden, die nur einem dieser beiden angehören. In solchen Ergebnissen zeigt das Ganze eine Überlegenheit über die einzelnen Teile, die fast handgreiflich auf die Existenz alles regulierender „Dominanten" oder „Entelechien" hinzuweisen scheint. Und doch — wie bedenklich er-

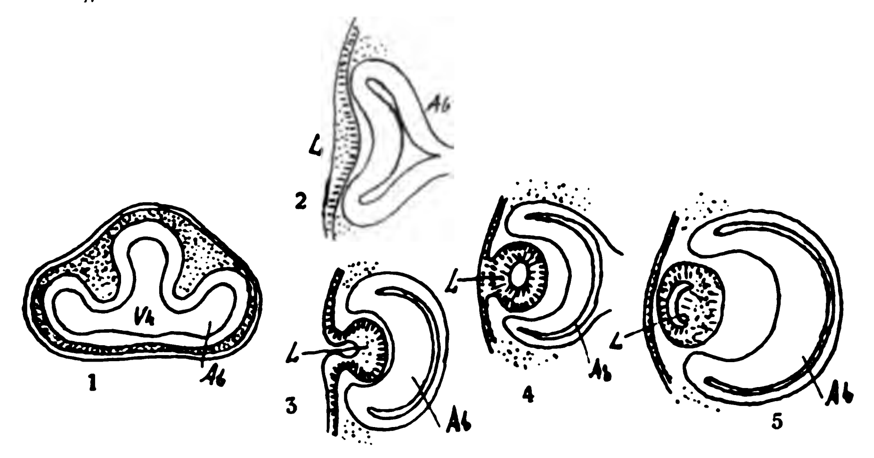


Abb. 38. Bildung der Linse. *Vh* Vorderhirn. *Ab* Augenbecher. *L* Linse.

scheint auch hier wieder das Sichberuhigen bei einer solchen „Annahme", die doch schließlich nichts als ein asylum ignorantiae ist. Entfernt man nämlich die Linse nicht ganz, sondern drängt sie nur in den Glaskörper zurück, so bildet sich trotzdem vom Irisrande her eine neue Linse, und reizt man diesen zufällig an mehreren Stellen, so entstehen zwei oder noch mehr neue (Abb. 39), also etwas absolut Unzweckmäßiges. Ja, es ist ganz neuerdings gezeigt worden, daß unter bestimmten Umständen an ganz anderer Stelle des Auges eine Linse „regeneriert" werden kann, obwohl die alte an Ort und Stelle ganz richtig funktioniert[104]. Auch in anderen Fällen ist unzweckmäßige Regeneration oft beobachtet (vgl. Abb. 40).

Auf der anderen Seite steht dem Angeführten eine große Reihe von Versuchen gegenüber, die eben so klar die relative Unabhängigkeit der Teile vom Ganzen erweisen. Als auffälligstes Beispiel dafür waren schon lange die weißen Blutkörperchen bekannt,

Zellen, welche frei im Blute lebend, amöbenähnliche Bewegungen und Tätigkeiten ausführen und (nach Metschnikoff) wahrscheinlich die Aufgabe erfüllen, eingedrungene Parasiten (Bakterien) unschädlich zu machen. — Neuerdings ist es nun Carrel u. a. Autoren gelungen, auch andere Teile des Organismus in Sonderkulturen auf geeigneten Nährböden am Leben zu erhalten z. B. Nieren- Muskel- und sogar Nervenzellen. Die Frage, ob sich solche Zellen dann auch vermehren, ist freilich

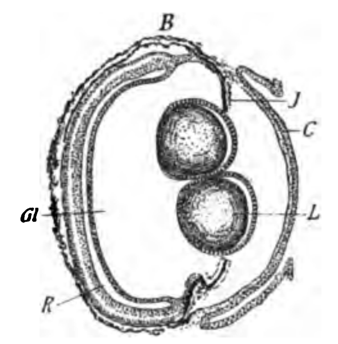


Abb. 39. Doppelte Regeneration der Linse beim Tritonauge. *Gl* Glaskörper, *R* Netzhaut, *L* Linse, *J* Iris, *C* Hornhaut nach Fischel.
(Aus Weismann, Vorträge über Deszendenztheorie, Bd. II. Verlag G. Fischer, Jena.)

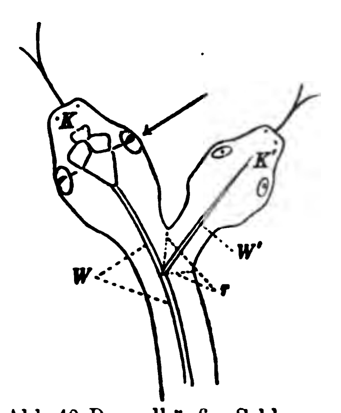


Abb. 40. Doppelköpfige Schlange (Regenerat).
(Aus Thesing, Experimentelle Biologie. II. Verlag B. G. Teubner, Leipzig und Berlin.)

noch nicht eindeutig entschieden, sicher ist aber, daß diese Kulturen dann keineswegs den Charakter der normalen Gewebe tragen. Die betr. Zellen, benehmen sich vielmehr sozusagen „herrenlos", sie wandeln sich vielfach zu selbständig beweglichen („amöboiden") Zellen um, offenbar weil ihnen die normalen seitens der übrigen Teile des Organismus sonst ausgeübten Reize fehlen. Ganz anders verhalten sie sich dagegen, sobald sie statt in eine allgemeine Nährlösung wieder unter die normalen Ernährungs- und Reizverhältnisse, also in einen lebenden Organismus, versetzt werden, mit anderen Worten, bei den sog. Überpflanzungsversuchen (Transplantationen). Diese haben einhellig gezeigt, daß zahlreiche Organe fast an jede beliebige Stelle des Körpers verpflanzt werden und hier nach der Einheilung gedeihen können, ferner, daß solche Überpflanzungen auch von einem Individuum auf ein anderes mit Erfolg ausgeführt werden können, und zwar um so leichter, je näher beide miteinander verwandt sind. Auch

hier zeigt sich also wieder die geheimnisvolle Macht des „Artplasmas" bzw. Individualplasmas, die in den weiter unten zu besprechenden Blutreaktionen noch stärker zutage tritt. Überpflanzungen bei artverschiedenen Individuen sind übrigens im allgemeinen bei Tieren schwieriger als bei Pflanzen auszuführen. Bei letzteren sind Pfropfungen z. B. von Apfelreisern auf Birnbäume usw. ja auch dem Laien bekannt[105].

Alle diese Versuche führen uns nun schon von dem Problem der Formbestimmung und der Entwicklung (Determinationsproblem) hinüber zu dem Problem der Korrelation, d. h. der Beziehungen der Teile des Organismus zueinander. Auch auf diesem Gebiet hat die neuere experimentelle Biologie große Erfolge zu verzeichnen, aber auch hier kann von einer auch nur grundsätzlichen Lösung einstweilen noch keine Rede sein. Immerhin ist so viel erreicht, daß wir ungefähr einige Richtlinien des Weges erkennen können. Zunächst ist festzustellen, daß die gegenseitigen Beziehungen der Teile des Organismus zueinander, wie sie sich z. B. in den allbekannten Tatsachen des Schnupfens nach Erkältung der Füße oder des Stimmwechsels mit Eintritt der Geschlechtsreife u. dgl. äußert, keineswegs nur durch eine Art, sondern durch mehrere Arten von Mitteln zustande kommen. Zunächst gibt es zweifellos zahlreiche Fälle, wo durch Vermittlung des Nervensystems Veränderungen, die an einer Stelle eintreten, Folgen an einer anderen Stelle hervorrufen. Daneben käme, besonders bei Pflanzen, vielleicht aber auch bei niederen Tieren eventl. ein direkter Zusammenhang des Protoplasmas von Zelle zu Zelle überhaupt in Betracht, der als undifferenzierte Vorstufe der Nervenreizleitung auch neben dieser noch wenigstens im beschränktem Umfange in Gebrauch sein könnte. Als Hauptmittel der Herstellung solcher Beziehungen aber zwischen oft ganz entlegenen Teilen sind neuerdings chemische Einflüsse erkannt. Man nennt die Stoffe, welche an der einen Stelle ausgeschieden und, in das Blut bzw. den Säftestrom übergehend, an anderer Stelle bestimmte Wirkungen auslösen, Hormone oder innere Sekrete. Daß auch bei Pflanzen derartige Einrichtungen eine Rolle spielen, ist freilich lange bezweifelt worden, scheint aber nach neueren Untersuchungen doch der Fall zu sein. Bei den Tieren sind dagegen zahlreiche Fälle dieser Art mit aller Sicherheit nachzuweisen. Es braucht hier nur an die Folgen der Entfernung oder der Wucherung der Schilddrüse oder der Thymusdrüse, an die Bedeutung der Zirbeldrüse (im Gehirn), an die Regulierung des Blutdrucks durch das Adrenalin (den wirksamen Stoff des Sekrets der

Nebenniere) u. a. erinnert zu werden, wovon das eine oder andere Beispiel heute fast allgemein bekannt ist. Die auffälligsten Belege liefert die Physiologie der Fortpflanzungsorgane, es mögen ein paar davon ausdrücklich angeführt sein, um eine Vorstellung von der Tragweite dieser Forschungen zu geben. — Spritzt man Hündinnen, die weder trächtig sind, noch es je gewesen sind, Säfte ein, die man aus anderweitig erhaltenen Hundeembryonen kurz vor der Geburt gewinnen kann, so beginnen bei den Versuchstieren alsbald die Brustdrüsen zu schwellen und schließlich sogar Milch zu geben. Steinach entfernte aus Ratten und Meerschweinchen die Geschlechtsdrüsen (Eierstöcke bzw. Hoden) und pflanzte den so zunächst „neutral" gemachten Tieren die entgegengesetzten Geschlechtsdrüsen ein. Der Erfolg war eine völlige Umstimmung der Versuchstiere, eine „Feminierung" der ehemaligen Männchen und „Maskulierung" der Weibchen, die sich nicht nur in sämtlichen äußeren sog. sekundären Geschlechtsmerkmalen (Farbe, Form, Größe, Behaarung u. a.) zeigte, sondern auch psychisch das Tier völlig veränderte, die maskulierten Tiere bissig, angriffslustig, eifersüchtig aufeinander machte, sie zu normalen Weibchen hintrieb und umgekehrt, ja bei hinreichend jung operierten Tieren sogar eine teilweise Umbildung der äußeren Geschlechtsorgane zur Folge hatte. In späteren Versuchen von Steinach, Lipschütz, Sand u. a., die teilweise auch auf den Menschen ausgedehnt wurden, konnten noch zahlreiche ebenso merkwürdige Ergebnisse dieser Art hinsichtlich Zwitterbildung, Homosexualität u. a. erhalten und teilweise sogar schon medizinisch verwertet werden. Es unterliegt kaum noch einem Zweifel, daß es bestimmte von den Geweben der Geschlechtsdrüsen ausgeschiedene Stoffe sind, die diese Wirkungen im ganzen Körper hervorbringen, da man in vielen Fällen derart hat zeigen können, daß nicht nur die überpflanzten Organe selbst, sondern schon deren Extrakte zur Auslösung der Wirkung genügen. — Öfters ist beobachtet, daß solche inneren Sekretionen paarweise als „Antagonisten" wirken, z. B. das Sekret der einen Drüse den Blutdruck erhöht, das der anderen ihn herabsetzt. Ebenso sind nach Steinachs Versuchen männliche und weibliche Geschlechtsdrüsen solche Antagonisten, die sich bei gleichzeitiger Einpflanzung in denselben Organismus sogar gegenseitig durch ihre Sekrete in der Entwicklung hindern. — Es ist sicher, daß noch zahllose Beziehungen in dieser Weise sich voraussichtlich werden aufklären lassen. Doch mag noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß neben dieser Vermittlungsart die beiden anderen oben genannten bestehen, die sich zu ihr etwa verhalten,

wie eine elektrische Klingel zu einem gewöhnlichen Glockenzug, oder wie ein Telefon zu einem Sprachrohr.

Übersieht man dies ganze Material, so wird man sich des Eindrucks nicht erwehren können, daß die Forschung doch auf dem besten Wege ist, auch in das ungeheuer verwickelte Getriebe des vielzelligen Organismus allmählich einzudringen. Daß wir es hier nicht mit ewig unerforschlichen, geheimnisvoll zwecksetzenden Mächten, sondern mit absolut gesetzmäßig verlaufenden Vorgängen zu tun haben, ist so offenbar, daß darüber kein Wort mehr verloren zu werden braucht. Weniger einfach ist die Frage zu beantworten, wie sich denn nun von der Höhe der gewonnenen Einsicht aus der mechanistisch-vitalistische Streit darstellt. — Man wird, wie mir scheint, zu dem Ergebnis kommen müssen, daß an diesem nichts Wesentliches geändert ist. Achtet man nämlich auf die Lebenserscheinungen so erscheint auch hier, wie die zuletzt angeführten Tatsachen schlagend beweisen, der Mechanismus in siegreichem Vordringen gegen den Vitalismus. Achtet man indes auf das Existieren dieser ganzen unermeßlich verwickelten Maschinerie als solcher, so erscheint das schon bei der einfachen Zelle riesengroß vor uns stehende Rätsel des Lebensanfangs hier erst recht ins Ungemessene potenziert. So kann man nur sagen, daß die angeführten Forschungen das Problem im mechanistischen Sinne vereinfachen, indem sie das Funktionieren des Ganzen auf das der einzelnen Teile (der Zellen) zurückführen, daß sie es aber andererseits im vitalistischen Sinne komplizieren, indem nun noch außer der Entstehung der zweckmäßigen Struktur der Einzelzelle noch die des „Zellenstaates" erklärt werden muß.

Eine weitere Reihe allgemeiner in die Philosophie hinüberführender Fragen knüpft sich an den Begriff „Individuum" in dem herkömmlichen Sinne. Denken wir einmal an den geteilten Regenwurm. Im Augenblick nach der Teilung haben wir ohne Frage zwei halbe Regenwürmer, dem einen Stück fehlt das Vorderende, dem anderen das Hinterende. Haben beide Teile das Fehlende regeneriert, so sind es nunmehr wieder zwei „ganze" Regenwürmer. In welchem Augenblicke nun wurde aus dem halben ein ganzer Wurm? Die Frage aufzuwerfen, heißt einsehen, daß sie sinnlos ist. Woran aber liegt es, daß wir auf eine solche sinnlose Frage überhaupt kommen? Die Antwort lautet: Es kommt daher, daß wir uns hier auf einen Begriff — den Begriff des Individuums, des unteilbaren Ganzen — festgefahren haben, der in solchen Fällen gar nicht anwendbar ist. — Es ist ebenso nun wohl klar, daß auch in dem Fall der Zellkonjugation oder der Eiverschmelzung (s. o.),

als dem Gegenstück zu solchen Teilungen, der Begriff des Individuums eine ähnliche Erweiterung erfährt. Haben wir das aber erst einmal eingesehen, so ist es nicht mehr weit zu der ferneren Folgerung, daß wir überhaupt das organische Individuum nicht als absolute Einheit, geschieden von allem anderen betrachten dürfen, sondern es als mehr oder minder sich deutlich abhebende Welle auf dem großen Strome organischen Geschehens ansehen müssen, für die auch ein zeitlich absolut genau bestimmter Anfangs- und Endpunkt nicht angebbar ist. Besonders diese letztere Konsequenz wird manchem, der im Einklang mit dem üblichen Sprachgebrauch und den herrschenden Anschauungen Geburt und Tod als absolute Grenzpunkte, Leben und Sterben als absolute Gegensätze anzusehen gewöhnt ist, befremdlich erscheinen. Es hilft uns aber keine Begriffsdeutung um die Anerkennung dessen herum, daß solche absoluten Grenzen und Gegensätze nicht wirklich existieren, sondern daß auch in diesem Punkt sich der Satz: natura non facit saltus bewährt. Daß zunächst ein Anfangspunkt nicht streng angebbar ist, sondern daß es rein auf Übereinkunft beruht, ob man etwa den „Moment" der Geburt, (der bekanntlich gelegentlich ein tagelanger Moment ist), oder den „Moment" der Zellkonjugation (Befruchtung) oder einen anderen Zeitpunkt nehmen will, wird ganz klar, wenn man die zahlreichen Fälle von Parthenogenesis mit ins Auge faßt, bei denen schlechterdings alles in einem kontinuierlichen Prozeß verläuft. Nehmen wir etwa Bataillons künstlich-parthenogenetische Frösche. Daß der Experimentator durch das Prickeln der Eier mit der Nadel diesen das Leben „eingehaucht" hätte, wird der Vitalist am wenigsten behaupten; er wird doch überzeugt sein, daß nur das „schlummernde Leben" geweckt sei. Gut, dann kann also auch im Falle der normalen Befruchtung des Froscheis nicht die Befruchtung erst den „Anfang des neuen Lebens" gemacht haben. Wie aber dann? Das Ei stammt aus dem Eierstocke der Mutter, es war vorher dort eine lebende Zelle, die ihrerseits aus anderen lebenden Zellen durch Teilung entstand usw. Das Gleiche gilt natürlich auch von dem Samenfaden. Kurz, man mag die Sache drehen wie man wolle, es ist leicht einzusehen, daß jedem Versuche, einen Anfang des Individuallebens mit wirklicher absoluter Genauigkeit zu definieren, hunderte von Tatsachen entgegenstehen.

Ganz dasselbe gilt aber auch vom Ende desselben, wenn man nur sich nicht auf einzelne Teilerfahrungen beschränkt, sondern das Ganze ins Auge faßt. Es ist unbezweifelbar, daß ein Individualleben sowohl bei einem Einzelligen als bei einem Vielzelligen in so kurzer Zeit zerstört werden kann,

z. B. durch Zerquetschen oder Verbrennen, daß man von einem „Moment“ des Todes reden kann. Es ist aber ebenso unbezweifelbar, daß es ebenso viele Fälle gibt, wo es schlechterdings unmöglich ist, diesen Moment anzugeben. Ganz abgesehen von den Einzelligen, bei denen man, wenn sie sich einfach in zwei neue Individuen teilen, doch offenbar mit demselben Rechte sagen kann, das Mutterindividuum sei tot, wie es lebe in seinen Kindern ungeschwächt weiter — auch bei Mehrzelligen gibt es Todesarten genug, bei denen der Übergang ein völlig kontinuierlicher ist, und nur derjenige einen Sterbensmoment finden kann, der eben absolut einen finden will. Das gilt selbst vom Menschen, obwohl unbezweifelbar, je höher die Organisation ist, desto unvermeidlicher der Tod den Charakter einer plötzlichen und allgemeinen Katastrophe annimmt. Wenn beispielsweise ein Mensch ertrunken ist, Herzschlag und Atmung bereits ausgesetzt haben, so kann er bekanntlich in gewissen Fällen durch „künstliche Atmung“ und andere Behandlungen wieder „ins Leben zurückgerufen“ werden. Soll man nun sagen, nur um mit Gewalt einen Grenzpunkt festzuhalten, den keine Beobachtung zeigt, der Betreffende sei dann eben noch nicht tot gewesen? Aber wenn er liegen geblieben wäre, und man hätte die künstlichen Handgriffe nicht gemacht, was wäre dann eigentlich Neues plötzlich eingetreten? Es ist doch eine allzu billige Ausflucht, eine ad hoc zurechtgelegte Hilfshypothese, wenn man sagt, das müsse doch wohl der Fall sein, wir wüßten es nur nicht. Wir wissen ganz gut, was geschieht, wenn der Ertrunkene liegen bleibt. Es geht einfach das weiter, was schon angefangen hat, es treten immer mehr Veränderungen ein, und ist der Umfang derselben erst allzu groß, so geht die Maschine eben, trotz aller späteren Bemühungen, nicht mehr. Ähnlich liegt die Sache auch beim Ausgang so mancher Krankheiten oder in solchen Fällen, wo man bei einer gefährlichen Krisis etwa durch eine Kampferinjektion das schon aussetzende Herz wieder anregen und unter Umständen so den sonst unvermeidlichen völligen Zusammenbruch des Organismus verhindern kann. Diese Auffassung wird aufs beste gestützt durch Versuche, wie z. B. die von W i n t e r s t e i n, dem es gelang, durch Erfrieren getötete Versuchstiere noch 3 Stunden nach Aufhören aller Lebenszeichen dadurch wieder vollständig zum Leben zu erwecken, daß er das Herz mit einer etwas Adrenalin enthaltenden Salzlösung durchspülte. Ganz allgemein kann man also sagen, daß es in solchen Fällen eine durchaus relative Sache ist, wenn man fragt, in welchem Stadium noch eine Hilfe, eine „Wiederbelebung“ möglich ist. Das kommt ganz auf die gegenwärtige Höhe der medizinischen Kunst an, und

manches wird unseren Nachkommen da noch möglich sein, was wir heute als unmöglich beiseite legen, indem wir resigniert sprechen: Es hilft nichts, er ist schon tot.

Auch in anderer Hinsicht hat das Problem des Todes durch neuere biologische Untersuchungen manche wesentlich neue Beleuchtung erfahren[106]. Die oft bestrittene Lehre von der (potentiellen) Unsterblichkeit der Zelle hat sich besonders durch Woodruffs und anderer Forscher Versuche an Pantoffeltierchen sehr wahrscheinlich machen lassen. Es gelang diesen Forschern, diese Protozoen durch geeignete fortwährende Erneuerung der Nährlösung tausende von Generationen hindurch unter vollständiger Vermeidung der Zellkonjugation zu züchten, so daß die oft aufgestellte Behauptung, ohne die erneuernde Wirkung der Konjugation müsse auch das einzellige Wesen (richtiger: ein Stamm Einzelliger) schließlich an „Altersschwäche", d. h. an innerer Degeneration sterben, wohl nicht aufrecht erhalten werden kann. Daß die Mehrzelligen sämtlich schließlich dem „physiologischen Tode" unterworfen sind, wird damit natürlich nicht aufgehoben. Wenn auch bisher nicht klar durchsichtig ist, warum der Fortschritt der Differenzierung in Zellen mit verschiedenen Aufgaben mit dem Preise der schließlichen Abnutzung und Degeneration dieses Systems als solchen bezahlt werden muß, so daß nur die Keimzellen als Fortführer des Lebens übrig bleiben, so darf man doch wohl als wahrscheinlich annehmen, daß zwischen der Differenzierung einerseits und der Wahrscheinlichkeit des Eintretens innerer Veränderungen, die nicht wieder umkehrbar sind und gehäuft schließlich den Tod herbeiführen, ein kausaler Zusammenhang besteht — abgesehen davon, daß selbstredend die Verletzlichkeit durch äußere Bedingungen auch entsprechend der Differenzierung zunimmt. Es ist meines Erachtens deshalb nicht notwendig, teleologische und selektionistische Gedankengänge zur Erklärung hierfür heranzuziehen: der Tod mußte sozusagen eingeführt werden, damit eine Höherentwicklung der Arten stattfinden konnte, oder: die „sterblichen" Mehrzelligen waren aus eben diesem Grunde im Daseinskampfe der Arten bevorzugt vor etwaigen unsterblichen, die eben damit von der Höherentwicklung ausgeschlossen gewesen wären. Der „physiologische" Tod kann und muß vielmehr aufgefaßt werden als ein Vorgang der normaler Weise ebenso regelmäßig eintritt, wie andere „Lebensvorgänge" (man verzeihe das Paradoxon), weil eben die Gesamtheit aller inneren und äußeren Lebensbedingungen ein derartig verwickeltes System darstellt, daß eine wirkliche reine Periodizität der Erscheinungen ausgeschlos-

sen ist, vielmehr nach einer gewissen Zeit die nicht wieder umkehrbaren Vorgänge einen Betrag erreichen, der das Weiterfunktionieren unmöglich macht. Eine wesentliche Stütze erfährt diese Auffassung durch neuere Versuche, welche ergeben, daß man z. B. durch Unterdrückung des Blühens u. a. Mittel die Lebensdauer von Pflanzen wesentlich erhöhen kann. Einjährige Pflanzen, deren normaler Tod spätestens im Herbst eintritt, konnten so bis zu $3^1/_2$ Jahren am Leben erhalten werden. Also auch hier nicht ein geheimnisvolles „Gesetz der Lebensdauer", sondern einfach ein Zusammenwirken zahlreicher Ursachen, die einzeln für sich variiert werden können und damit auch den ganzen Ablauf innerhalb bestimmter Grenzen, die wieder durch andere Teilbedingungen bestimmt sind, einer Änderung fähig machen. Die zahlreichen Feststellungen über die „normale" Lebensdauer bestimmter Tiere und Pflanzen, die mehr oder minder deutlichen Beziehungen, welche zwischen derselben und etwa der Zeit ihrer Reifung u. a. bestehen, sind also nicht als Ausdruck direkter einfacher Kausalverhältnisse, sondern lediglich als sozusagen statistische Feststellungen darüber zu verstehen, in welcher Zeit durchschnittlich bei den gewöhnlichen Bedingungen der Tod einzutreten pflegt. Es erscheint durchaus denkbar, ja es ist sogar wahrscheinlich, daß es über kurz oder lang auch bei Tieren und Menschen gelingen wird, die Lebensdauer erheblich zu verlängern durch passende Eingriffe in den Ablauf des Geschehens*); ja man kann sagen, daß im Grunde genommen alle „vernunftgemäße Lebensweise", durch welche man z. B. der Arterienverkalkung oder dergleichen Alterserscheinungen vorzubeugen sucht, schon einen derartigen Eingriff darstellt. Praktisch findet natürlich jeder Versuch, das Leben beliebig zu verlängern, sehr bald sein Ende an der völligen Unmöglichkeit, den unerhört verwickelten Komplex aller Bedingungen auch nur annähernd jemals zu übersehen. Es ist jedoch hier wie in anderen Fällen falsch, aus solchen praktischen Unmöglichkeiten theoretische Undenkbarkeiten zu machen. Daß alles Lebendige schließlich einmal stirbt, ist also nicht Folge irgendeines besonderen, geheimnisvoll im Metaphysischen wurzelnden Gesetzes, sondern einfach eine Erfahrungstatsache, deren „Erklärung"

*) Anm. während der Korrektur: Diesen Satz, der schon vor längerer Zeit geschrieben war, habe ich absichtlich stehen lassen. Die rasch berühmt gewordenen Untersuchungen Steinachs[167] haben sie anscheinend bereits, wenigstens für Tiere (Ratten) bestätigt.

in dem Zusammenwirken zahlreicher anderer einzeln bekannter oder zu erforschender Erfahrungstatsachen zu suchen ist.

Wenn man dies alles erwägt, so möchte man geneigt sein, dem Begriff des organischen Individuums nur noch die Rolle eines „denkökonomischen" Hilfsbegriffs zuzuweisen, während in Wirklichkeit das, was wir so nennen, nur eine Welle auf dem Strom des Geschehens darstellte, ohne bestimmten Anfangs- und Endpunkt, eine Einheit nur für unser abstrahierendes Denken bildend, in Wahrheit ein unübersehbar verwickelter Komplex von tausend und abertausend Einzeldingen und Vorgängen. Wir werden unten sehen, inwiefern ein solcher radikaler Relativismus am Ziel vorbeischießt, wenden uns aber nun zunächst zu dem bisher immer nur flüchtig gestreiften

Problem der Vererbung

das wegen seiner hervorragenden Wichtigkeit auch im Interesse späterer Gedankengänge eine besondere Erörterung verdient. Die „Vererbungslehre" hat sich in letzter Zeit zu einer besonderen Wissenschaft ausgewachsen, wir wollen zunächst die wichtigsten Tatsachengruppen uns vor Augen führen, und sodann die Vererbungstheorien kurz diskutieren. Es ist schon im vorigen bei der Erörterung des Entwicklungsproblems manches erörtert worden, was in diesem Zusammenhang ebenfalls seine Stelle finden müßte. Vor allem sei noch einmal erinnert an die oben angeführten Teilungs- und Verschmelzungsversuche, an die Regenerationen u. a., wodurch bewiesen wird, daß wahrscheinlich in allen Körperzellen jene Tendenz zum Ganzen (Integrationstendenz) in mehr oder minder hohem Grade enthalten ist. Sodann muß hier an die zu Anfang des vorigen Kapitels erörterten Vorgänge bei der Zellteilung, die Chromosomenbildung und deren Längsteilung, erinnert werden. Diese bewirkt, daß jede der entstehenden Tochterzellen stets genau die Hälfte des Chromatins der Mutterzelle mitbekommt, und da dieses nun in der befruchteten Eizelle halb aus dem väterlichen Samenkern, halb aus dem Eikern stammt, so hat also jede Körperzelle an beiden Elementen gleichen Anteil. Nach der heute ziemlich allgemein angenommenen Lehre Weismanns sondern sich nun von Anfang an in der normalen Entwicklung bestimnte Zellen aus, welche nicht an der bei allen übrigen eintretenden Differenzierung teilnehmen, vielmehr den ganzen Anlagenkomplex ungeändert beibehalten und später die Keimzellen des neuen Individuums bilden. Diesen Zellen der sog. Keimbahn stehen die Körper-

zellen (das S o m a) gegenüber. Die Keimbahn, welche so von einer Generation zur anderen lückenlos weiterführt (K o n t i n u i t ä t d e s K e i m p l a s m a s), vergleicht Weismann passend einem in der Erde dahinkriechenden Wurzelstock, aus dem sich von Zeit zu Zeit neue Pflänzchen erheben. Es läßt sich in zahlreichen Fällen tatsächlich schon sehr früh eine Sonderung

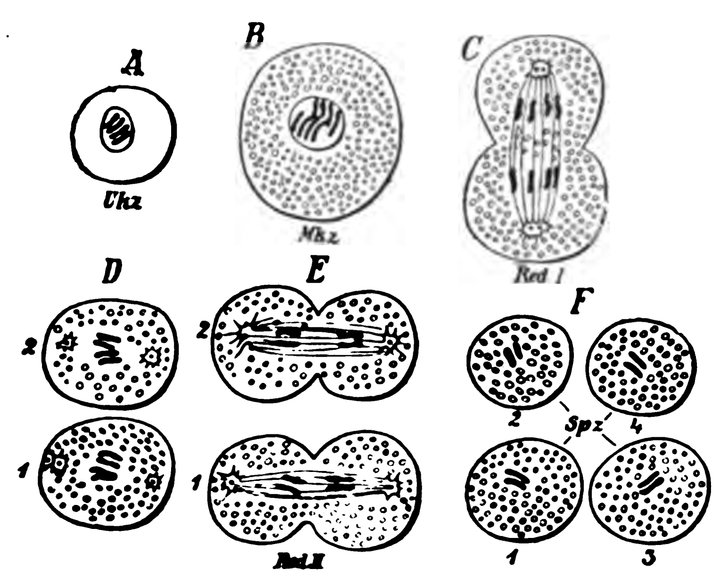


Abb. 41. Schema der Reifeteilungen einer Samenzelle.
A Ursamenzelle. *B* Muttersamenzelle (Spermatozyte). *C* Erste Reifeteilung (Äquationsteilung). *D* Die beiden Tochterzellen. *E* Zweite Reifeteilung (Reduktionsteilung). (Aus W e i s m a n n, Vorträge über Deszendenztheorie. 3. Aufl. Verlag von G. Fischer, Jena.)

der die späteren Geschlechtsdrüsen bildenden Zellkomplexe von den übrigen Zellen feststellen, so daß diese Lehre auch experimentell ziemlich gut gestützt ist. Daß jedoch die Keimzellen des neuen Individuums denen des alten sicher nicht völlig gleichen, dafür sorgt zum mindesten, wenn nicht schon früher Abänderungen eintreten, die sog. R e d u k t i o n s t e i l u n g (s. S. 339), genauer: die sog. R e i f e t e i l u n g e n , denen, soweit bisher bekannt, in den weitaus meisten Pflanzen- wie Tierstämmen die Keimzellen unterliegen.

Um nicht zu ausführlich hierauf eingehen zu müssen, sei nur kurz bemerkt, daß es sich um eine Aufeinanderfolge von Teilungen handelt, bei denen zunächst die Chromosomen in eigentümlichen Gruppen zu je vier zusammen auftreten,

die dann durch zwei rasch aufeinander folgende Teilungen auf je vier einzelne Tochterzellen verteilt werden (Abb. 41). Die Chromosomen selbst werden hierbei einmal, der sonstigen Regel entgegen nicht längs gespalten, sondern einfach auf zwei Teilzellen verteilt (Abb. *E*). Infolgedessen enthält dann die schließlich entstehende Samen- bzw. Eizelle nur die halbe Chromosomenzahl, wie die sonstigen Körperzellen. Durch die Befruchtung erhält dann das Ei wieder die normale Chromosomenzahl.

Es ist überaus wahrscheinlich, wie wir sogleich sehen werden, daß bei diesem Reduktionsprozeß die Erbanlagen ungleich auf die einzelnen Teile verteilt werden. Dafür, daß dies überhaupt geschieht, haben wir einen zwingenden Beweis in den von der modernen Bastardforschung erbrachten Tatsachen, welche den Kernpunkt der heutigen Vererbungslehre bilden. Begründet ist dieselbe durch den Dominikanermönch Gregor Mendel in Brünn, ihre wichtigsten Gesetze heißen ihm zu Ehren die Mendelschen Regeln, und wenn eine Pflanze oder ein Tier sich ihnen entsprechend verhält, so sagt man, ihre Merkmale „mendeln".

Unter einem Bastard (Hybrid) versteht man bekanntlich das Produkt der geschlechtlichen Vermischung aus je zwei Pflanzen oder Tieren, die zu erblich verschiedenen Rassen, Spielarten, Arten, Gattungen, in einzelnen Fällen sogar Familien gehören. Solche Bastardierung ist im allgemeinen allerdings nur bei nahe verwandten Arten möglich und die Produkte derselben pflegen um so mehr zur Unfruchtbarkeit zu neigen, je weiter die Eltern verwandtschaftlich voneinander entfernt sind. Man kennt nun einige wenige Fälle, in denen die Bastarde ihrerseits ihre Eigenschaften scheinbar konstant auf ihre Nachkommen vererben. Dahin gehören z. B. Hasen-Kaninchen-Bastarde und bei den Pflanzen gewisse Getreideartbastarde. Solche Bastarde sind nicht mendelnd. Die Ursache ihres von der Regel abweichenden Verhaltens ist noch nicht bekannt. Auch steht es nicht ganz sicher fest, ob es wirklich sich dabei um konstante Vererbung handelt.

Um andererseits die gewöhnlichen Fälle und ihre Regeln zu verstehen, wollen wir an ein möglichst einfaches Beispiel anknüpfen. Als solches dient gewöhnlich die „Wunderblume" (Mirabilis Jalapa), welche in zwei Varietäten, einer weiß und einer rot blühenden, vorkommt (Abb. 42). Kreuzt man beide, d. h. befruchtet man die Stempel der einen mit dem Pollen der anderen Art, so erhält man eine Tochtergeneration (F_1*)), die rosa blüht, sie bildet einen sog. intermediären Bastard.

Befruchtet man nun diese Generation F_1 unter sich, so erhält man eine Enkelgeneration (F_2), in der ¼ aller Pflanzen rot, ¼ weiß und $^2/_4$ wieder rosa blühen. Die beiden ersten bleiben bei weiterer Inzucht für sich wieder konstant, sind also einfach auf die beiden Stammformen Pr bzw. Pw zurückgeschlagen.

*) Die Eltern (parentes) werden mit P, die folgenden Generationen mit F_1, F_2 (filius), usw. bezeichnet.

die beiden anderen Viertel spalten in der folgenden Generation (F_3) in derselben Weise auf, wie F_2 ($^1/_4 + {}^2/_4 + {}^1/_4$), haben also genau denselben intermediären Charakter wie die Generation F_1. Ähnliche intermediäre Bastardbildung kennt man auch bei zahlreichen anderen Merkmalen, wie Größe und Form von Blättern u. a. Häufiger jedoch ist ein zweiter Fall; die Bastardbildung mit „dominierendem Merkmal (einseitige Bastarde). Benutzen wir zu dem obigen Versuch eine rotblühende und eine weißblühende Erbse, so sind die

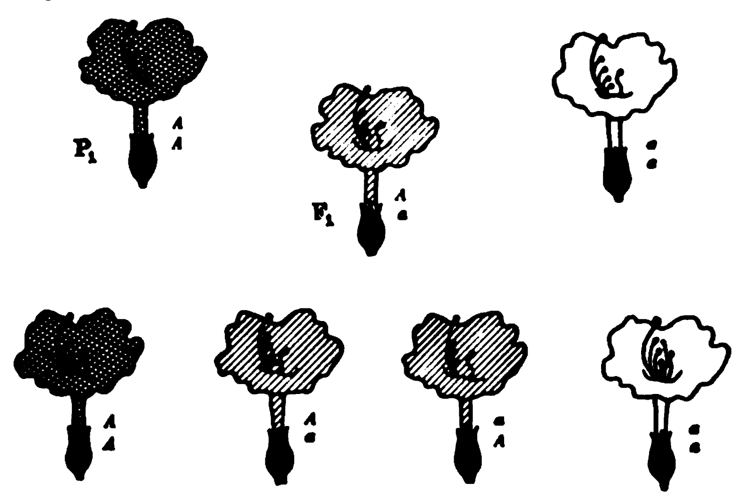


Abb. 42. Bastardierung zwischen roter und weißer Varietät der Wunderblume. (Aus Lehmann, Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin.)

Exemplare der Tochtergeneration (F_1) sämtlich rot, das Weiß ist also ganz unterdrückt (rezessives Merkmal). das Rot dominiert. Aber diese Unterdrückung ist nur eine scheinbare. Bei weiterer Inzucht wie oben spaltet sich genau wie vorher wieder $^1/_4$ weiße Pflanzen ab, die anderen drei Viertel aber sind zwar alle rot, aber auch nicht alle in gleicher Weise. Nur $^1/_4$ nämlich ist rein rot und bleibt es auch bei weiterer Inzucht, die beiden anderen sind wie F_1 nur rot durch Dominanz und spalten wie F_1 selbst in der folgenden Generation wieder $^1/_4$ weiße ab usw. Kurz die Sache ist im wesentlichen ebenso wie vorher, nur daß die tatsächlich einen Bastard vorstellenden Exemplare äußerlich dem einen Elter völlig oder fast völlig gleichen. (Bei näherer Untersuchung sind doch oft kleine Unterschiede festgestellt worden.) Neben diesen beiden Fällen ist noch der dritte bekannt, daß der Bastard weder intermediär noch einseitig ist, sondern von beiden Eltern abweichende Eigenschaften besitzt (meist Rückschläge auf Stammformen). Wir wollen davon hier absehen. — Die dritte und für uns wichtigste Tatsache ist nun die, daß bei Kreuzung von Rassen, die sich in mehr als einem Merkmal unterscheiden, beide Merkmale unabhängig voneinander „men-

deln“, d. h. sich der obigen Spaltungsregel gemäß in den folgenden Generationen verteilen. Dadurch können dann neue Merkmalskombinationen entstehen, die ursprünglich keiner von beiden Eltern aufwies. Kreuzt man beispielsweise eine Erbsensorte, welche grüne und runzlige Samenkörner hat, mit einer solchen, die gelbe und glatte hervorbringt, so bekommt man in den folgenden Generationen auch solche die grün und glatt, sowie solche, die gelb und runzlig sind. Die Zahlverhältnisse entsprechen genau den theoretisch vorausberechneten, wir wollen darauf aber hier nicht näher eingehen, ebenso wie auf die noch komplizierteren Fälle[105].

Wir wenden uns nun zu der Frage, wie sich die Mendelschen Regeln erklären und knüpfen dazu wieder an das einfachste Beispiel (Mirabilis) an. Die (rosa) Bastardgeneration F_1 ist entstanden durch Verschmelzung einer männlichen, das Merkmal rot bestimmenden (sagen wir kurz: einer „roten“ Keimzelle) mit einer weiblichen „weißen“ oder umgekehrt. (Natürlich sind die Keimzellen nicht selbst so gefärbt.) Die Tatsache, daß in der F_2-Generation nun wieder ein Teil rein rot und ein anderer rein weiß ist und konstant so bleibt, ist nur zu verstehen, wenn man annimmt, daß in den Keimzellen der F_1-Generation die Anlagen nicht mehr wie in den vorigen Keimzellen gemischt sind. Sie müssen also bei der Entstehung der Keimzellen in der F_1-Generation getrennt werden. Nehmen wir an, daß die eine Hälfte aller Keimzellen „Rot“, die andere „Weiß“ enthält, so erklärt sich nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung sogleich das Zahlenverhältnis in der Enkelgeneration. Denn es kann dann eine männliche rote oder weiße mit einer weiblichen roten oder weißen zusammentreffen (Rr, Rw, Wr, Ww), alle vier Kombinationen sind gleich wahrscheinlich, was offenbar das Zahlenverhältnis $^1/_4 + ^2/_4 + ^1/_4$ ergibt. Da auch alle übrigen in derselben Weise in den verwickelteren Fällen theoretisch voraus zu berechnenden Zahlverhältnisse sich durch die Erfahrung bestätigen lassen, so darf dieser Schluß, daß in den Keimzellen bastardierter, aber mendelnder Pflanzen und Tiere die Anlagen wieder getrennt werden (so daß im Durchschnitt gleich viel Keimzellen das Merkmal des einen oder des anderen Elters tragen), wohl als einer der sichersten der ganzen Vererbungslehre gelten. Ohne diese Annahme bleibt die ganze Mendelforschung ebenso unverständlich wie die Chemie ohne die Atomistik. Es soll freilich nicht verschwiegen werden, daß es auch Fälle gibt, in denen diese „Hypothese von der Reinheit der Gameten“ nicht zuzutreffen scheint. Doch sind das Ausnahmen.

Die Tatsache der Unabhängigkeit der Merkmale beweist dann ferner, daß jene Trennung der Erbanlagen in den Keimzellen ebenfalls die einzelnen

Anlagenpaare (z. B. grün-gelb, glatt-runzlig) unabhängig voneinander trifft, wir somit in dem betrachteten Falle viererlei Keimzellen bekommen (gr, gl), (gr, ru), (ge, gl), (ge, ru), aus deren 16 möglichen Kombinationen man leicht (bei Berücksichtigung dessen, daß gr über ge, ru über gl dominiert) die wirklich zu beobachtenden Zahlverhältnisse ausrechnen kann. — Es ist ferner aus mancherlei anderweitigen Ergebnissen mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit der Schluß zu ziehen, daß in Wirklichkeit solche mendelnden Merkmale gar nicht auf der Anwesenheit je zweier verschiedener Erbeinheiten, sondern auf der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Erbfaktors beruhen (Presence- und Absencehypothese, der anwesende wäre dann natürlich der „dominante").

Bis hierhin handelt es sich nun zwar auch schon um Hypothesen, aber doch um solche, die aus den Tatsachen als deren Begründung mit großer Wahrscheinlichkeit zu erschließen sind. Sehr viel unklarer ist aber nun bis zum heutigen Tage die Frage geblieben, wie diese vermutete Trennung der Keimanlagen eigentlich vor sich geht. Als nächstliegende Annahme bietet sich dafür offenbar der Gedanke, daß die oben erörterte Reduktionsteilung mit der dabei stattfindenden Chromosomenzahlhalbierung hiermit vielleicht in einem ursächlichen Zusammenhang stehen könnte. In der Tat muß es auffallen, daß in diesem einzigen Falle die Chromosomen nicht einfach längs geteilt werden, sondern durch einen im einzelnen überaus verwickelten Vorgang auf die Teile so verteilt werden, daß dabei nicht jede Keimzelle von jedem Chromosomen einen gleichen Teil mitbekommt. Die nähere Durchführung dieses Gedankens ist jedoch nicht so einfach, als es zunächst scheint. Man kann sowohl annehmen, daß der betr. Faktor in allen Chromosomen, wie daß er nur in einem einzelnen Chromosom enthalten ist. Im ersten Falle (Weismann) muß man besondere Hilfshypothesen über den Mechanismus der Reduktionsteilungen machen, um die Unabhängigkeit von der Vererbung der Merkmale zu erklären; im zweiten folgt, daß der betr. Faktor in den durch Konjugation zweier gleicher Keimzellen entstandenen Zellen, demnach auch in den diesen völlig gleichenden Zellen des einen Elters zweimal enthalten sein und bei der Reduktionsteilung halbiert werden muß. Die letztere, hauptsächlich von Boveri verfochtene Vorstellung erfreut sich der größten Beliebtheit. Es mag zu ihrer Beurteilung jedoch darauf hingewiesen werden, daß ihr, wie teilweise der ganzen Chromosomenhypothese überhaupt, eine ganze Reihe Voraussetzungen zugrunde liegen, die keineswegs sicher-

gestellt sind. Einmal ist es überhaupt nicht nur nicht ausgemacht, sondern sogar sehr zweifelhaft, ob wirklich der Kern das „Vererbungsmonopol" hat und nicht vielmehr auch das Zellplasma daran mehr oder minder mit beteiligt ist. Es gibt Experimente, die dafür, und solche, die dagegen sprechen. Zum anderen ist es fraglich, ob nun wieder von der Kernsubstanz ausgerechnet nur das Chromatin der Vererbungsträger sein soll. Dazu kommen weitere Hypothesen, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Endlich aber — und das scheint mir das Hauptbedenken zu sein — spricht ein allgemeines Bedenken gegen diese Vorstellung, wie gegen die Chromosomenhypothesen überhaupt: Sie verlegen die einzelnen Erbeinheiten in räumlich gesonderte Teile des Zellkerns bzw. des Chromatins, es gilt also für sie das schon S. 246 Erörterte. Wenn Weismann für alle die späteren Merkmale des fertigen Organismus je einen besonderen „Biophor" im Keim verantwortlich macht, die er dann zu „Determinanten" und „Iden" (d. i. den Chromosomen) zusammentreten läßt, so erinnert das doch verzweifelt an die primitive Erkenntnistheorie der Alten, wonach eine Gesichtsempfindung „rot" z. B. dadurch zustande kommt, daß von dem betr. Gegenstand ein Strom von „Röte" ins Auge kommt, oder daß die Formwahrnehmung auf losgelösten „Bildchen" beruht, die von dort in unser Auge fliegen u. a. m. Die Auffassung ist mit einem Wort ein bischen reichlich grob und materialistisch. Man kann schließlich doch durch alle Vererbungserscheinungen nur beweisen, daß jedem Merkmal (bzw. Merkmalspaar) eine bestimmte angebbare Eigenschaft des Keims entsprechen muß, aber es bleibt unentschieden, worin diese Eigenschaft besteht. Daß diese „Gene" (Erbanlagen) bei der normalen Teilung in gleicher Weise auf beide Teilzellen übergehen, ist sicher, ebenso ist es sehr wahrscheinlich, daß sie bei den Reifeteilungen der Keimzellen von Bastarden ungleich verteilt werden. Welche Rolle den Chromosomen aber dabei zukommt, ist sehr zweifelhaft. Man kann mit gutem Gewissen heute nicht mehr behaupten, als daß der g a n z e Kernteilungsprozeß wahrscheinlich das Mittel zur Erreichung jener erbgleichen bzw. ungleichen Verteilung darstellt, daß ferner auch die Chromosomenbildung irgendwie damit zusammenhängt, also wohl eins der Mittel zu diesem Zweck oder ein Stadium dieses Vorgangs darstellen dürfte, daß sie vielleicht aber doch auch nur einen Teil desselben uns vor Augen führt, während andere vielleicht ebenso wichtige Teile sich einstweilen der Beobachtung entziehen.

Wenn aber die Biologie vor der Aufgabe, in diesen Dingen Klarheit zu verschaffen, auch heute vielleicht noch steht, wie man vor mehreren hundert

Jahren vor den physikalischen Problemen stand: es liegt kein Grund vor, an ihrer einstigen Lösung zu verzweifeln, ob darüber auch noch manche schön ersonnene Hypothese den Weg gehen wird, den angeblich alle Hypothesen, in Wahrheit aber nur die falschen oder schiefen gehen, die in den Anfangsstadien der Wissenschaften allerdings die bleibenden bei weitem überwiegen. Und es liegt noch weniger Grund vor, mit einem gewissen Triumph auf diese unsere gegenwärtige Unkenntnis hinzuweisen und dabei unvermerkt auch hier wieder aus einem ignoramus ein ignorabimus zu machen. Daß es sich um erforschbare, wenn auch vorläufig fast ganz unerforschte Dinge handelt, das wird uns durch das Wenige, was wir bisher wissen, mit völlig ausreichender Deutlichkeit sichergestellt. Es steht über allem Zweifel erhaben fest, daß in den Erscheinungen der Entwicklung eines lebenden Wesens von der Keimzelle bis zum fertigen Individuum dasselbe „große Gesetz" herrscht,

„Das oben im Sternenlauf waltet
Und verborgen im Ei reget den hüpfenden Punkt
— Der Notwendigkeit stilles Gesetz, das stetige, gleiche",

mit anderen Worten das Kausalitätsprinzip. Wenn es dafür noch besonderer Beweise bedurft hätte, so haben ihn die im Vorstehenden reichlich angeführten Beispiele aus dem Gebiete der Entwicklungsmechanik, der Bastardforschung u. a. wohl in genügendem Maße erbracht. Nunmehr ist es aber angezeigt, daß wir dieser Frage nach der Rolle des Kausalitätsprinzips in der Biologie, sowie einigen weiteren allgemeinen Fragen, die sich an unsere bisherigen Erörterungen anknüpfen, nachgehen. Wir wollen das erste Problem durch die Gegenüberstellung der beiden Begriffe

Kausalität und Zweckmäßigkeit

in üblicher Weise kennzeichen. Es ist in der populären mechanistisch gerichteten Literatur üblich, die Forderung, alle Naturerscheinungen „natürlich", d. h. gesetzmäßig zu erklären, ohne weiteres auf biologischem Gebiete mit der Forderung der physikochemischen Erklärbarkeit des Lebens gleichzusetzen. Man wirft also dem Vitalismus ohne weiteres „mystische" Tendenzen und Supranaturalismus vor. Um diesen Vorwurf zu prüfen, müssen wir zunächst klarzustellen suchen, was gesetzmäßige oder kausale (natürliche) Erklärung denn eigentlich heißt. Wir haben dies Problem schon im ersten Teil erörtert, und können deshalb hier darauf zurückgreifen. Kausale Erklärung heißt, wie wir dort darzutun versuchten, zunächst: Unterordnung

des Besonderen unter das Allgemeine oder Erkennung eines Allgemeinen im Besonderen, so daß das letztere aus dem ersteren logisch ableitbar wird. Wir haben jedoch einen anderen Gesichtspunkt dabei übergangen, der bei jener zunächst nur auf die Physik bezogenen Erörterung als selbstverständlich erscheint, jetzt aber ausdrücklich erwähnt werden muß. Dieser Punkt ist die „eindeutige Bestimmtheit der Natur." Man pflegt dies sehr oft als den wesentlichsten Inhalt des „Kausalitätsprinzips" und zwar in der Form auszusprechen: „Unter gleichen Umständen geschieht Gleiches." Abgesehen aber davon, daß hiermit die oben abgelehnte Einschränkung der Kausalität auf die zeitlichen Verknüpfungen gegeben wäre (s. u.), bringt dieser Satz jenes logische Verhältnis der Unterordnung nicht zum Ausdruck. Man unterscheidet daher besser zwischen Kausalbegriff und Kausalgesetz. Der wesentliche Inhalt des ersteren ist die „Verknüpfung", die als logische Folge aus einem irgendwie schon feststehenden Satz gefaßt wird, der wesentliche Inhalt des zweiten dagegen die Überzeugung, daß die Natur einförmig ist, d. h. daß eine einmal festgestellte Verknüpfung dieser Art — sofern keine anderen „Ursachen" hinzukommen — stets und überall gleich bleibt. Die schwierige Frage, woher diese Überzeugung stammt, bleibe hier unerörtert. Der Empirismus deutet sie als Erfahrungsergebnis, der Rationalismus als Grundsatz a priori des reinen Verstandes. Wie diese Frage sich aber auch lösen möge, das Prinzip der eindeutigen Bestimmtheit gilt nicht nur für das Geschehen, sondern ebensogut für das Gleichzeitigsein. Wenn wir z. B. sagen: Ein elektrischer Strom hat ein Magnetfeld um sich, so ist dies ebenso unbedingt und eindeutig bestimmt gedacht, wie wenn wir sagen: Von einem Quantum Zucker, das in Wasser gelöst und mit so und soviel Schwefelsäure vermischt, bei 100° hingestellt wird, ist nach 3 Stunden so und soviel gespalten. Mit diesem Vorbehalt können wir im folgenden den Satz auch in der oben als zu eng abgelehnten zeitlichen Form: „Unter gleichen Umständen geschieht Gleiches", benutzen, da er uns hier nur von dieser Seite her interessiert.

Es ist nun niemals, auch von vitalistischer Seite niemals, im Ernste bestritten worden, daß der Satz auch für die organische Welt, ebenso wie für die anorganische gilt. Wenn z. B. aus zwei anscheinend genau gleichen Eiern unter den gleichen äußeren Bedingungen von Wärme, Druck usw. zwei doch etwas verschiedene Tiere hervorgehen, so wird niemand auch nur einen Augenblick zögern, den Schluß zu ziehen, daß demnach entweder die inneren Verhältnisse im Ei oder die äußeren Umstände doch nicht so über-

einstimmten, wie es den Anschein hatte. Ganz etwas anderes aber ist nun offenbar die Frage, welches die in Betracht kommenden Umstände sind. Darüber sagt das „Kausalitätsprinzip" gar nichts aus, kann es gar nichts aussagen, da es ja eine rein formale Forderung enthält. Jede in der wirklichen Welt uns vorkommende Reihe notwendig, d. h. gesetzmäßig miteinander verknüpfter Umstände formulieren wir in einem „Naturgesetz". Das Prinzip sagt nur aus, daß, wenn einmal die Umstände A, B, C ... den Erfolg X, Y, Z ... mit sich führen, dann dies unter sonst gleichen Umständen stets der Fall ist. Aber weder kann es aussagen, wie vielerlei und welche Kategorien solcher Umstände und Erscheinungen überhaupt existieren, noch welche von ihnen im einzelnen miteinander verknüpft sind. Sonst müßte doch zum mindesten die gesamte Physik und Chemie inhaltlich aus dem bloßen Kausalitätsgesetz ableitbar sein. Von solchen Versuchen sind wir aber seit Hegel wohl geheilt. Es ist also hiernach klar, daß das Kausalprinzip allein uns a priori nichts zur Entscheidung der Frage nach der eventuellen „Eigengesetzlichkeit" des Lebens verhelfen kann, d. h. nichts darüber aussagen kann, ob es wirkliche Dinge gibt, deren vollständige Beschreibung mit physikalisch-chemischen Begriffen allein nicht möglich ist. Am besten wird uns ein Vergleich dies noch erläutern. Man kann das ganze System planimetrischer Lehrsätze entwickeln und wird doch vergeblich damit die Beziehungen der räumlichen Elemente an dreidimensionalen Körpern zu erfassen suchen, da in diesen eben eine neue Dimension zu den beiden der Ebene hinzukommt. Trotzdem heben aber bekanntlich die stereometrischen Sätze keineswegs die planimetrischen auf, im Gegenteil, sie befassen sie als besondere Fälle unter sich. — Könnte es sich nun nicht ähnlich verhalten mit dem physikalisch-chemischen und dem biologischen Gebiet? Könnten nicht die Gesetze des letzteren die des ersteren mit umfassen und doch eine ganz neue Dimension zu dem bloß Physikalischen hier hinzugefügt sein? Sicherlich kann kein Kausalitätsprinzip an sich hierüber irgend etwas entscheiden, es bleibt vielmehr einfach eine Aufgabe der direkten Erfahrung. Die Forschung selbst muß es schließlich als Ergebnis herausstellen. Man kann daher das Kausalitätsprinzip nicht ohne weiteres als entscheidenden Grund für den Mechanismus gegen den Vitalismus hinstellen.

Ich stimme daher E. Becher vollständig bei, wenn er (Naturphil., S. 415) sagt, daß es ein Vorurteil sei zu glauben, die Einführung vitaler Faktoren

mache die Biologie unexakter. Daß die Biologie weniger exakt ist als die Physik und Chemie, beruht, wie er mit vollem Recht hervorhebt, nicht auf der Einführung besonderer vitaler Faktoren, sondern auf der ungeheuren Kompliziertheit des organischen Geschehens und wird durch den Mechanismus nicht besser, durch den Vitalismus nicht schlimmer, wie denn auch die Physik nicht dadurch unexakt wird, daß sie neue Faktoren, etwa Faradays Kraftfelder oder die Elektronen, einführt.

Etwas anders sieht jedoch die Sache aus, wenn man von der physikalisch-chemischen Betrachtung ausgeht. Da wohl niemand im Ernst bestreitet, daß ein physikalisch-chemisches System für sich allein genommen der Bedingung der Eindeutigkeit genügt, wie ja die ganze Physik und Chemie das stillschweigend voraussetzt, so kann man folgern: Die lebende Zelle zusammen mit den in Betracht kommenden Umweltfaktoren bilden ein physikalisch-chemisches System, das als solches eindeutig ablaufen muß, wenn uns auch einstweilen die genauere Kenntnis der Einzelheiten dabei mangelt. *Fordern, daß „Dominanten" oder „Entelechien" oder sonst dergleichen „regulatorische" Kräfte dieses Spiel beeinflussen, heißt also fordern, daß ein physiko-chemisches System durch die in einem Augenblick gegebene Verteilung in seinem Ablauf noch nicht eindeutig festgelegt sei.*

[In mathematischer Sprache ausgedrückt heißt das Dilemma so: Seien A, B, C ... diejenigen Veränderlichen auf die das fragliche materielle System durch die Physik und Chemie reduziert wird (z. B. Elektronenladungen und Geschwindigkeiten, Feldstärken u. dgl.), x, y, z, t die räumlich-zeitlichen Koordinaten, so liegt eine Anzahl von Differentialgleichungen zwischen jenen Größen A, B, C, ... x, y, z, t vor, gemäß denen die Änderungen des A, B, C, d. h. dA/dt, dB/dt ..., mit den Momentanwerten und ihren räumlichen Verteilungen dA/dx usw. verknüpft sind. Diese Gleichungen stellen die „Naturgesetze" dar. Ferner sind als „Randbedingungen" die „Anfangswerte" A, B, C ... an jeder Stelle zu einem bestimmten Zeitpunkte gegeben. Die Forderung der Eindeutigkeit des Ablaufs besagt dann, daß diese Gleichungen mit den gegebenen Randbedingungen eindeutig integrierbar sind, woraus sich leicht bestimmte mathematische Bedingungen für diejenigen Funktionen ergeben, die in den „Naturgesetzen" vorkommen; vgl. S. 181].

Da nun *erfahrungsgemäß* ja die physiko-chemischen Systeme eindeutig abzulaufen pflegen, so kann man, auch ohne daß wir die Kenntnis jener letzten

Naturgesetze besitzen, doch mit großer Wahrscheinlichkeit behaupten, daß sie diesen analytischen Bedingungen wohl genügen werden. Ist das aber der Fall, so sieht man keinen Weg, wie nun noch „Dominanten“ oder dergleichen in diesen schon für sich eindeutig bestimmten Ablauf eingreifen bzw. ihn „regulieren“ sollten, da er doch schon durch die Gesetze und die Anfangsbedingungen vollständig reguliert ist. Trotz allem, was bedeutende vitalistische Forscher, wie Driesch, Reinke u. a. hiergegen eingewendet haben, und obwohl in mir selbst ein starkes Gefühl sich gegen diesen Schluß auflehnt, ich kann mir nicht helfen, ich weiß ihm nicht zu entgehen. Der unmittelbare Eindruck, den die Lebewesen machen, ist ja immer wieder der, daß hier das physiko-chemische Geschehen durch überphysikalische Entelechien reguliert und regiert wird. Wer ganz tendenzlos, nur von dem reinen Wunsch erfüllt, die Wahrheit zu ergründen, an die Dinge herantritt, wird sich diesem Eindruck niemals entziehen können und entziehen wollen. Wir wissen, daß Verstandesschlüsse uns schon oft irregeführt haben, auch wo sie noch so sicher schienen, und daß oft die unmittelbare Anschauung richtiger war, als das ausgeklügelte System. Aber der Forscher weiß auch ebensogut, daß die Anschauung sehr oft irreführt, und daß wir auf mühsamen Verstandesumwegen uns von Vorurteilen befreien müssen, die um so fester sitzen, je unmittelbarer sie aus der Anschauung zu fließen scheinen. (Man denke nur an das geozentrische Weltbild und den absoluten Zeitbegriff.) Wo ist also der rechte Weg in unserem Falle?

Viele vitalistische Forscher glauben der Forderung der organischen „Regulationen“ dadurch eine Möglichkeit eröffnet zu haben, daß sie auf ohne Energieänderung verlaufende physikalische Vorgänge hinweisen. Mit Vorliebe wird das Beispiel des im kreisförmig gekrümmten Kathodenstrahl senkrecht zu einem magnetischen Kraftfeld umlaufenden Elektrons oder des Kegelpendels herangezogen. Übrigens tut jeder (reibungslos gedachte) Kreisel mit Präzessionsbewegung den gleichen Dienst, ebenso irgendeine auf horizontaler Ebene rollende Kugel. Nehmen wir letztere als Beispiel, weil dies der einfachste und anschaulichste Fall ist. Es ist richtig, daß jede Bewegung senkrecht zum Schwerefeld, also horizontal, keine Energieänderung bedingt, wohlgemerkt überall nur: keine Energieänderung hinsichtlich der Schwere. Wollen wir jedoch die Kugel irgendeine Bewegung in der horizontalen Ebene machen lassen, die nicht einfach dem Trägheitsgesetz entspricht, so müssen wir sehr wohl Arbeit aufwenden, die dann in horizontale kinetische Energie der Kugel übergeht.

Will man dieser Folgerung entgehen, so bleibt nur übrig, Kräfte anzunehmen, welche Massen (bzw. elektrische Ladungen usw.) verschieben, ohne sie zu beschleunigen, neben die Galilei-Newtonsche (bzw. die Einsteinsche) Mechanik also eine andere zu setzen, deren Grundsatz nicht das „Trägheitsgesetz" in der gewöhnlichen Fassung ist, sondern lautet: Ohne Kraft bleibt der Körper, wo er ist, mit Kraft verschiebt er sich und zwar mit einer der Größe der Kraft proportionalen Geschwindigkeit (nicht Beschleunigung). Von solchen „Kräften" weiß die Physik jedenfalls nichts, auch führt die weitere Verfolgung eines solchen Gedankens zu fast unlösbaren Widersprüchen. Denn wenn eine solche Kraft zur Zeit t = o noch nicht wirkt, zur Zeit t aber wirkt und daher in diesem Augenblick der betr. Massenpunkt die dadurch bestimmte Geschwindigkeit v hat, so muß er doch zwischendurch von der Geschwindigkeit 0 auf die Geschwindigkeit v gebracht, also beschleunigt worden sein, d. h. es ist ihm eben kinetische Energie $^1/_2\,m\,v^2$ zugeführt worden. Wie man also die Sache auch dreht: Selbst wenn der Organismus ein System wäre, in dem sich beliebige Veränderungen ohne Energieänderung (auf einer „Potentialfläche") vollziehen könnten (wie bei der als Beispiel angenommenen Kugel), so würde doch daraus immer noch nichts anderes folgen, als daß das System nun nach dem Trägheitsgesetz abläuft, sofern nicht anderweitig doch Energie zugeführt wird, es würde also gerade das gelten, was der Vitalismus durch die Hypothese von den „arbeitslosen" Kräften vermeiden will. Ein besonderes Beweisstück für den Vitalismus bildet noch die Periodizität der organischen Vorgänge, wie sie schon die einfachste Verrichtung der Zelle, die Nahrungsaufnahme, zeigt. Auch eine Amöbe „frißt" die zur Verfügung stehenden Algen keineswegs immer, sondern nur, wenn sie „Appetit hat", also in Zwischenräumen. Man könnte sagen: Wäre der Organismus eine einfache Assimilationsmaschine, so wäre nicht einzusehen, warum diese nicht, bei konstant bleibenden äußeren Bedingungen auch dauernd funktioniert. Es muß also doch wohl in ihr irgend ein Etwas stecken, was sie spontan (freiwillig) handeln läßt. Hierauf ist zu erwidern, daß man dieselbe Überlegung mutatis mutandis auf anorganische periodische Vorgänge wie etwa die Ausbrüche eines Geysirs, anwenden könnte. Wir wissen, daß in diesem gerade unter konstanten äußeren Bedingungen, wozu vor allem dauernde Wärme- (Energie-) Zufuhr aus dem Erdinnern gehört, nur von Zeit zu Zeit der zur Eruption nötige innere Zustand sich herstellt. Ganz ähnlich könnten wir also auch annehmen, daß die mit der vorigen Nahrungsaufnahme zugeführte Energie im Körper der Amöbe nach einer gewissen Zeit,

wenn sich genügend viel umgesetzt hat, die nötigen Bedingungen für die erneute Wirksamkeit des von der Alge ausgehenden Reizes schafft, nur daß uns in diesem Fall wegen der unermeßlichen Verwickeltheit der Verhältnisse auf dem kleinsten Raum die Sache einstweilen gänzlich undurchsichtig ist.

Die hier hervorgehobenen Bedenken machen nicht den Anspruch darauf, eine Widerlegung des Vitalismus überhaupt zu sein. Vielleicht ist es möglich, diesen so zu formulieren, daß er von ihnen nicht mehr getroffen wird. Es müßte dann freilich von vornherein darauf verzichtet werden, die „vitalen Faktoren“ als Erklärungsprinzipien in die kausale Erklärung einzustellen. Mit anderen Worten: der Vitalismus müßte grundsätzlich darauf verzichten, auf diese oder jene Erscheinung, wie z. B. die Regeneration, als auf etwas zu verweisen, was ohne ihn nicht erklärt werden könnte, er gewönne aber dafür das Recht, überall als nicht nur geduldeter, sondern genau ebenso notwendiger Gesichtspunkt der Betrachtung neben der kausalen Erklärung zu stehen.

Um nun diesen Gedanken noch etwas näher zu erläutern, ist es notwendig, daß wir dem Begriff der organischen Zweckmäßigkeit ein wenig nachgehen.

Wir kommen damit auf eins der am meisten erörterten Probleme der Naturphilosophie, das Verhältnis von Kausalität und Zweckmäßigkeit. Was organische Zweckmäßigkeit heißt, ist unmittelbar anschaulich. Wir finden schon bei den einfachsten lebenden Wesen und bei den höheren in entsprechend viel höherem Maße Einrichtungen und Tätigkeiten, die ganz offensichtlich dazu da sind, bestimmte Ziele zu erreichen, welche letzten Endes immer auf die Erhaltung des Individuums oder der Art Bezug haben. Wir können hier davon absehen, ob es neben solchen Einrichtungen und Tätigkeiten auch andere zwecklose oder gar zweckwidrige gibt, wie etwa die unvernünftig großen und zahlreichen Geweihzacken des Hirsches oder die langen Fortsätze mancher Muschelschalen und dergleichen, oder ob dies doch irgendwie verkappte Zweckmäßigkeiten sind. In jedem Falle überwiegt das Zweckmäßige, d. h. das den genannten Zielen Dienliche so stark, daß wir von vornherein schon gar nicht anders können, als alle Einrichtungen und Tätigkeiten der lebenden Wesen unter diesem Gesichtswinkel betrachten. Jeder, der Organismen irgendwie beobachtet, fragt stets unwillkürlich: Wozu ist dies oder jenes da? Wozu tut das Tier, die Pflanze dies oder das? Sieht man z. B. Kartoffelkeimlinge oder Zweige einer Zimmerpflanze sich dem Lichte zu krümmen, so ist zweifels-

ohne der erste Gedanke der, daß die Pflanze dies tut, um das zur Assimilation nötige Licht in möglichst reichem Maße zu erlangen. Denken wir dann darüber näher nach und finden, daß wir der Pflanze doch nicht gut Absicht und Überlegung hierbei zuschreiben können, so wird sich doch jener Zweckgedanke in der Form erhalten: die Pflanze ist eben so eingerichtet, daß diese ihr nützliche Reaktion eintritt. Bei einem Tier hingegen werden wir im allgemeinen sogar geneigt sein, derartige zweckmäßige Vorgänge als durchaus „beabsichtigt" ganz in Analogie zu unserem eigenen Handeln zu beurteilen. Dem steht nun auf der anderen Seite gegenüber, daß es der Forschung zweifelsohne in sehr vielen solchen Fällen, wo früher lediglich diese „teleologische" Betrachtungsweise üblich war, gelungen ist, eine kausale Erklärung dafür zu finden, d. h. zu ermitteln, aus welchen Ursachen diese Tätigkeiten zwangsmäßig erfolgen müssen, auch ganz abgesehen davon, ob damit für die Pflanze oder das Tier ein Vorteil verbunden ist. Ein besonders lehrreiches Beispiel hierzu liefert etwa der Bau der Knochen. In der schwammigen Knochensubstanz, wie sie die Enden der großen Röhrenknochen, z. B. des Oberschenkels bildet, verlaufen die Linien fast genau ebenso, wie gemäß den Methoden der modernen Technik ein solches Gerüst konstruiert werden müßte, um bei möglichst geringem Materialverbrauch möglichst große Festigkeit zu erzielen (Abb. 43 u. 44). Hier liegt also eine Teleologie vor, die vielfach als direktes Argument für die hinter der Natur waltende Intelligenz hat herhalten müssen. Versuche und Beobachtungen an unnormalen Befunden haben nun gezeigt, daß die Sache sich folgendermaßen kausal erklären läßt: Jede Knochenzelle (Osteoblast), deren Lebenstätigkeit u. a. in der Ausscheidung von Kalk besteht, scheidet diesen stets in den verschiedenen Richtungen verschieden stark, entsprechend dem auf sie ausgeübten Drucke aus. Die Gesamtheit der nebeneinander liegenden Zellen muß daher den Kalk in der Hauptsache in den Linien stärksten Druckes ausscheiden, dieser selbst schafft sich also sozusagen erst den „zweckmäßigen" Widerstand. Nun kann ein Verteidiger der Teleologie zwar sagen: Gut, aber wer hat die Knochenzellen gelehrt, sich so zu verhalten? Das ist doch offenbar wiederum eine für das betr. Tier, bzw. den Menschen überaus zweckmäßige Einrichtung derselben. Dies ist richtig. Aber wer so meint, mit der Sache fertig geworden zu sein, übersieht eins, daß nämlich jene ganze „kausale" Betrachtung doch das Problem völlig verschoben hat. Es handelt sich zunächst um die Zweckmäßigkeit des Knochenbaus im ganzen, welche wegen ihrer Beziehung zu der menschlich-mathematischen Methode den

Eindruck der dahinterstehenden Intelligenz machte. Dieser Eindruck erweist sich als ein voreiliger, anthropomorphistischer Schluß, denn jedenfalls die fragliche geometrisch-mechanische Konstruktion des Ganzen enthüllt sich als Folge einer an sich hiervon ganz unabhängigen, allgemeinen Tatsache, welche für die einzelne Zelle gilt. Ob diese ihrerseits nun wieder



Abb. 43. Bau der Knochen. (Oberschenkel, Kopf.)

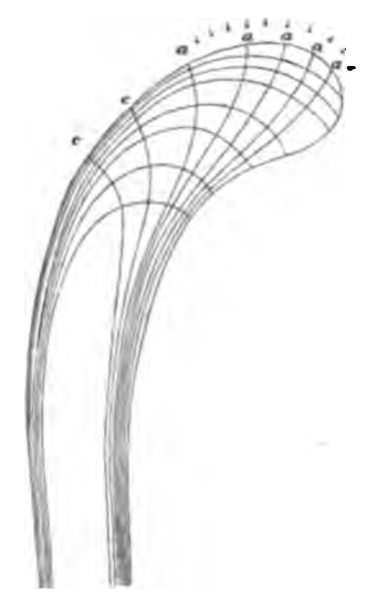


Abb. 44. Oberes Ende eines Krans, der in der gleichen Weise wie der Oberschenkel belastet ist, mit eingezeichneten Spannungs- und Drucklinien (nach Culmann).

teleologisch angesehen werden kann oder muß, oder ob sie kausal erklärt werden kann oder nicht, das steht auf einem anderen Blatt. Es liegt hier also ganz ähnlich, wie in der Physik (s. S. 102), wir haben die Sache zwar nicht restlos aufgeklärt, aber wir sind doch ein Stück weit in der kausalen Erklärung gekommen. Ganz ähnlich liegt die Sache auch bei dem oben angeführten „Heliotropismus" der Pflanzen. Es kann als nachgewiesen gelten, daß das Licht selbst diese Krümmung automatisch bewirkt, indem es auf irgendeine uns allerdings einstweilen noch ziemlich rätselhafte Weise die Zellen der (belichteten) Vorderseite gegenüber denen der Rückseite in ihrem Wachstum hemmt. Auch das ist zweifellos ein Stück kausaler Er-

klärung, denn es schiebt das Problem um eine ganze Stufe zurück, und ganz analog liegt die Sache in zahllosen anderen Fällen. In Summa: es gibt also genug Beispiele dafür, daß eine Einrichtung, die den unmittelbaren Eindruck der biologischen Zweckmäßigkeit macht, kausal wenigstens ein Stück weit erklärt werden kann. Sind wir nun aber mit dieser kausalen Erklärung die Zweckmäßigkeit los? Ich denke doch keineswegs. Denn es ist doch gar keine Frage, daß die Zweckmäßigkeit tatsächlich besteht und unserer Beobachtung sich geradezu aufdrängt. Wer nicht bemerken wollte, daß jener Heliotropismus für die Pflanzen im allgemeinen nützlich ist, wäre ein Idiot. Es genügt auch ein einziger Blick in irgendein beliebiges biologisches Lehrbuch (auch wenn es ein fanatischer Mechanist geschrieben hat), um zu erkennen, daß die ganze Biologie von diesem Gedanken an die Zweckmäßigkeit der Organismen durchtränkt ist und keine noch so weitgehende kausale Analyse das jemals ändern wird. Es kann also kein anderer Schluß daraus gezogen werden, als der, daß *kausale und teleologische Betrachtungsweise nebeneinander zu Recht bestehen*. Nun ist in irgendeiner Form dieser Satz in der Tat fast von allen Seiten zugegeben. Viele mechanistisch gerichtete Biologen legen ihn jedoch dahin aus, daß sie die teleologische Betrachtungsweise nur gelten lassen wollen als sozusagen provisorische, zusammenfassende Problemstellung für die kausale Analyse. Sie leugnen also, daß dem Zweckgedanken eine über das Methodologische hinausgehende Bedeutung zukäme, daß ihm ein Wirkliches entspräche, behaupten vielmehr, daß es „in Wirklichkeit" nur jene komplizierten Kausalverhältnisse gibt, die wir „denkökonomisch" unter dem Begriff des Zwecks zusammenfassen. *An dieser Stelle liegt nun m. E. der Ansatzpunkt für einen auf jeden Fall haltbaren Vitalismus. Der letztere besteht zu Recht, sobald wir der organischen Zweckmäßigkeit eine objektive, über das bloß Vorgestellte hinausgehende Bedeutung beilegen.* Dies braucht nun aber keineswegs die „Entelechie" als verkappter kausaler Faktor zu sein, wie die Vitalisten ihn immer glauben verteidigen zu müssen. Wir können vielmehr sehr wohl auch ohne das dem Zweck eine objektive Bedeutung sichern. Um das einzusehen, braucht man sich nur klarzumachen, daß der Zweckbegriff in dieser Hinsicht im Grunde genommen dem Kausalbegriff (und dem „Naturgesetz" u. a.) ganz gleichsteht, welche ebensowenig, um E. *Bechers* Ausdruck zu gebrauchen, „frei in der Natur herumlaufen".

Beides sind ebenso wie noch andere Relationen, wie z. B. Größenvergleichung, Anordnung usw. zunächst Begriffe bzw. Kategorien (Denkformen, Schemata) mittels deren wir, die erkennenden Subjekte, die Wirklichkeit in ein geordnetes System bringen. Nach der Ansicht des Positivismus (Mach) sowohl wie des Idealismus (Neukantianer) sind sie nichts als dies, etwas Reales entspricht ihnen in der Wirklichkeit nicht. Demgegenüber habe ich schon S. 68ff. mich dem kritischen Realismus angeschlossen, wie ihn heute besonders Hartmann, Külpe, Meinong und E. Becher vertreten. Es wurde schon dort der mittelalterliche „Universalienstreit" als Typus des hier vorliegenden Problems erwähnt. „Dahinter aber erhebt sich die allgemeine und schwierige Frage, welch eine metaphysische Bedeutung jenen allgemeinen Bestimmungen zukommt, auf deren Erkenntnis alle erklärende Wissenschaft hinausläuft. Deshalb ist den Forschern von heute, welche den Universalienstreit ... wie eine längst überwundene Kinderkrankheit behandeln möchten, solange sie nicht mit voller Sicherheit und Klarheit anzugeben wissen, worin die metaphysische Wirklichkeit und Wirksamkeit dessen besteht, was wir ein Naturgesetz nennen, noch immer zuzurufen: mutato nomine de te fabula narratur" (Windelband, Gesch. d. Phil. 2. Aufl. S. 245). Was Windelband hier vom Naturgesetz sagt, gilt eo ipso auch vom Zweckbegriff. Die Zweckmäßigkeit des Heliotropismus der Pflanzen oder des Baues eines Wirbeltierauges ist in genau demselben Sinne „wirklich", wie das Lichtbrechungsgesetz oder der Energiesatz wirklich sind. Es wird niemals eine Biologie geben, die darauf verzichten würde, etwa die „Akkomodations"-Einrichtungen des Auges u. dgl. unter diesem Gesichtswinkel zu betrachten. Und wenn die künftige Biologie sämtliche zur Bildung dieses so unendlich feinen Apparates führenden kausalen Faktoren sowohl der Einzel- als der Stammesentwicklung klar vor sich sähe, es würde sich nichts daran ändern, daß das Auge zum Sehen da ist, und daß es daher nicht nur eine provisorisch berechtigte, sondern eine immer unumgänglich notwendige Art der Betrachtung ist, zu untersuchen, inwiefern es dafür eingerichtet ist. Diese Betrachtung drängen nicht wir der Natur, sondern umgekehrt die Natur drängt sie uns absolut unmißverständlich auf. Nicht wir sind es also, die anthropomorphistisch den Zweckmäßigkeitsbegriff in die Natur hineintragen, sondern diese, jedenfalls die lebende Natur, ist so beschaffen, daß wir diesen Begriff bilden müssen, wenn wir sie überhaupt vollständig „verstehen" wollen. Man muß nur nicht „verstehen" mit „kausal erklären"

identifizieren. Ein Kunstwerk, z. B. eine Komposition von Beethoven „versteht" man auch noch nicht damit, daß man die Erzeugung der betr. Töne (Schallwellen) kausal erklärt, ja noch nicht einmal dadurch, daß man es gemäß den Regeln der Harmonielehre analysiert, obwohl auch beides mit dazu gehört, wenn man es vollständig nach allen Richtungen hin verstehen will. In diesem Sinne, aber auch nur in diesem Sinne, pflichte ich dem Hauptvertreter des neuen Vitalismus, Driesch, bei, wenn er mit allem Nachdruck betont, daß im Reich der Organismen das Ganze durchaus nicht einfach die Summe seiner Teile sei. Jene merkwürdige, selbst Bruchstücken noch innewohnende „Integrationstendenz", von deren Macht wir oben einige Beispiele vorführten, verlangt vielmehr gebieterisch die Bildung einer besonderen Kategorie, in der wir sie als einheitliche Erscheinung erfassen, und das ist eben die Kategorie der Zweckmäßigkeit oder meinetwegen die „Entelechie" oder die „Dominanten". Abgelehnt muß nur die Vermischung dieser Kategorie mit der der Kausalität werden, d. h. der Versuch, den Zweck an Stelle anderer und unbekannter Faktoren zur Ursache des organischen Geschehens zu stempeln. Er ist Form derselben, nicht Ursache. Diese selbst, d. h. das Kausalitätsverhältnis, ist die andere ihm gleichberechtigte Form (auch natürlich nicht nur der Betrachtungsweise, sondern des Geschehens selbst in dem oben und S. 68 dargelegten Sinne).

Halten wir nun diese Erkenntnis als Grundlage unserer weiteren Auseinandersetzungen fest, so liegt es nahe zu fragen, woher denn die Neigung zu diesem sich immer wieder einschleichenden falschen Gebrauch des Zweckbegriffs stammt. Die Antwort ist klar: die Veranlassung liegt darin, daß der Mensch den vorgestellten Zweck in sich selbst als Triebfeder (Motiv) seines Handelns, also als kausalen Faktor desselben kennt und daher geneigt ist, auch andere Naturerscheinungen danach zu beurteilen, mit anderen Worten, die Natur nach Analogie seiner selbst aufzufassen. Da nun ferner zweifelsohne zum mindesten für die Handlungen höherer Tiere dieser Auffassung sogar eine große Wahrscheinlichkeit zugestanden werden muß, so geraten wir damit auf die Frage, wo hier nach unten die Grenze zu ziehen ist, anders gesagt, wo und wie der Zweck denn überhaupt zur bewußten „Absicht" wird und hiermit stehen wir nun vor einem neuen, dem wichtigsten aller naturphilosophischen Probleme, dem sog.

Psychophysischen Grundproblem.

Ich habe absichtlich in der ganzen bisherigen Betrachtung alle Bezugnahme auf das Seelische vermieden, auch die neuere Form des Vitalismus, den sog. Psychovitalismus, deshalb bisher unberücksichtigt gelassen. Wir müssen nun das Versäumte nachholen.

Zunächst müssen wir feststellen, daß wahrscheinlich seelische Vorgänge in allen lebenden Wesen angenommen werden müssen. Auch da, wo wir bei einer der unsrigen völlig fremden Organisation uns keinerlei Vorstellung mehr davon machen können, wie es „im tiefsten Innern“ solch eines Wesens aussehen mag, führt uns das Kontinuitätsprinzip mit Notwendigkeit zur Annahme seelischen Geschehens. Es ist nämlich ganz unmöglich, innerhalb der Reihe der Organismen einen so tiefen Schnitt, wie er zwischen „beseelt“ und „unbeseelt“ bestehen würde, anzunehmen; das ganze System der Zoologie spricht dagegen. Man hat diese Grenze zu ziehen versucht einmal zwischen Einzellern und Vielzellern. Es ist aber schon oben erwähnt, daß der Unterschied zwischen diesen in mannigfacher Hinsicht durchaus fließt. Einem jener lockeren Zellverbände niederster Stufe, beispielsweise bestimmten Schwämmen, den Ehrentitel Individuum und eine Gesamtseele zuzuerkennen, der viel einheitlicheren einfachen Zelle dagegen (z. B. dem Pantoffeltierchen) die letztere abzuerkennen, erscheint unmöglich, da in diesem letzteren Falle die Einzelzelle eine viel straffere Organisation erkennen läßt, als in jenem das Ganze. dessen Teil die Einzelzelle ist. Man hat ferner die Grenze zu ziehen versucht zwischen Tieren ohne oder mit Zentralnervensystem. Allein es erhebt sich die analoge Schwierigkeit. Der kleine Sprung von dem höchsten Tiere ohne Zentralnervensystem bis zu dem niedersten Besitzer dieser Einrichtung ist ein unendlich viel geringerer, als der Unterschied von diesem letzteren bis zu den höheren Tieren hin (Insekten — Säugetieren, Vögeln), vom Menschen ganz zu schweigen. Kurz, man mag die Sache drehen, wie man wolle, es bleibt bestehen, daß jeder derartige Versuch als eine ad hoc zurechtgelegte Behauptung erscheint, als ein Hineinlegen künstlicher Grenzscheiden in die fast kontinuierliche Reihe der Tierwelt. — Sind wir nun aber aus diesem Grunde gezwungen, auch den niedersten Tieren, den Amöben und Rädertierchen, den Pantoffeltierchen und den Foraminiferen usw. ein psychisches Erleben, sei es auch in einer noch so dumpfen uns ganz unbegreiflichen Art zuzugestehen, so führt uns das nämliche Kontinuitätsprinzip auch zu der weiteren Konsequenz, daß wir von den die gemeinsame

Wurzel des Tier- und Pflanzenreichs bildenden Einzellern auch wieder hinaufsteigen müssen zu den höheren Pflanzen, mag es uns auch dabei erst recht unmöglich sein, irgendeine zutreffende Vorstellung von deren „Seelenleben" uns zu verschaffen. Wir reden, wenn wir das anerkennen, nicht der Abgeschmacktheit das Wort, menschen- und tierpsychologische Begriffe wie „Empfindung", „Schmerz", „Lust" usw. ohne weiteres auf das pflanzliche Dasein zu übertragen. Das mag dem Dichter gestattet sein. Der nüchterne Forscher muß sich sagen, daß nach aller Analogie das „Seelenleben" einer höheren Pflanze ebenso grundverschieden von dem eines höheren Tieres sein muß, wie es der Körper der Pflanze und des Tieres sind; daß, je weiter wir beiderseits von der gemeinsamen Grundlage der Einzelligen uns entfernen, desto unvergleichbarer mit der körperlichen auch die seelische Organisation sein wird, und daß es vorläufig dahingestellt bleiben muß, ob es uns jemals gelingen kann, einigermaßen ein Verständnis für die uns so fernstehenden Organismen auch in dieser Hinsicht zu gewinnen. Bei alledem aber dürfen wir doch mit seelischen Vorgängen überhaupt auch bei den Pflanzen rechnen, auch wenn wir uns der größten Vorsicht in der „Pflanzenpsychologie" befleißigen, und man wird deshalb über das, was in neuerer Zeit besonders R. Francé, Haberlandt u. a. an Material dazu beigebracht haben, doch nicht ohne weiteres zur Tagesordnung übergehen dürfen, mag man im übrigen auch Francés pflanzenpsychologischen Versuchen recht kritisch gegenüberstehen. Mindestens ist es ihnen doch gelungen, zahlreiche bisher ganz unbeachtete Erscheinungen aufzufinden, die dartun, daß auch den Pflanzen in weit höherem Grade als man bisher glaubte, die Fähigkeit der Reizbarkeit und Reizverwertung und besondere Organe zu diesen Zwecken zukommen. Einzelne dieser Erscheinungen waren ja längst bekannt, so z. B. die Empfindlichkeit der Blättchen von Noli me tangere, von insektenfressenden Pflanzen (Sonnentau) u. a.

Es knüpft sich hier naturgemäß auch die Frage an, ob denn nun der Begriff der Beseelung nicht aus Kontinuitätsgründen noch weiter nach rückwärts, über die Einzelligen hinaus verfolgt werden könne oder müsse, ob also nicht schließlich auch den Vorgängen der anorganischen Natur ein seelisches Gegenstück zugeschrieben werden müsse. Die Lehre, daß in dem zur Erde fallenden Stein, wie in dem Spiel der Atome sich der eine und gleiche Wille offenbare, wie in dem Wachsen der Pflanze der Sonne entgegen und in den Bewegungen der Tiere, der sog. Hylozoismus, ist

ja nicht erst von Schopenhauer erfunden, sondern so alt wie die philosophische Spekulation. Die Tatsache indessen, daß sie trotz ihrer unzweifelhaft poetischen und bestechenden Einfachheit niemals ins Allgemeinbewußtsein gedrungen ist, gibt schon zu denken. Man erkennt aber auch unschwer, daß hier nun wirklich die zulässige Grenze der Anwendung des Analogie- und Kontinuitätsprinzips überschritten ist. Wir kennen das Leben nur an einer begrenzten Gruppe von Stoffen und Körpern, dem Protoplasma in den lebenden Zellen. Vorläufig berechtigt uns nichts, diesen Begriff auch auszudehnen auf anorganische Systeme, wie das die Verfechter der Allbeseelungslehre tun. Vorläufig bilden die Lebenserscheinungen eine aus dem Anorganischen sich deutlich heraushebende besondere Gruppe von Naturvorgängen. Solange nicht der Mechanismus sowohl in bezug auf die Lebensfunktionen als in bezug auf die Entstehung des Lebens nachgewiesen ist, so lange liegt keinerlei Grund vor, die Beseelung, die wir im Reich der Organismen konsequenter Weise überall annehmen müssen, auch auf das anorganische Gebiet zu übertragen. Die Sachlage würde natürlich mit einem Schlage sich ändern, wenn es gelänge, wirklich wahrscheinlich zu machen, daß durch bloßes Spiel physiko-chemischer Kräfte Organismen entstehen könnten (Urzeugung). Dann würden wir vielleicht konsequent schließlich auch zur „Atom- und Elektronenseele" kommen. Einstweilen wollen wir aber solche gänzlich müßigen, weil in der Luft schwebenden Fragen lieber gar nicht erst diskutieren oder, wenn es geschehen soll, dann wenigstens hinzufügen, daß wir uns in lauter Hypothesen bewegen. Auf diese Frage wollen wir daher hier nicht weiter eingehen, sondern bei der organischen Welt bleiben. Daß innerhalb dieser die Beseelung allgemein angenommen werden darf, läßt sich durch gute Gründe stützen.

Damit steht denn nun für das ganze Reich des Organischen die schwierige Frage vor uns, was es mit dem Verhältnis des Seelischen und des Körperlichen auf sich hat. Was haben die körperlichen unserer Beobachtung zugänglichen Vorgänge am lebendigen Protoplasma mit den Empfindungen, Impulsen usw. zu tun, die wir uns hinzudenken müssen, wenn uns die Welt nicht unverständlich bleiben soll? Daß hier wechselseitige Beziehungen bestehen, ist ja offenkundig und zu allem Überfluß durch tausende von Experimenten, besonders auch durch psychiatrische Beobachtungen sichergestellt. Beispiele dafür anzuführen ist wohl überflüssig. Jedes Herzklopfen infolge ausgestandener Angst, jeder Ärger, der seine Ursache in schlechter Verdauung hat, die zahllosen Gehirnverletzungen im Weltkriege

mit ihren teilweise überaus merkwürdigen seelischen Folgen, beweisen diese Wechselbeziehungen zwischen Körperlichem und Seelischem ja auch dem Einfältigsten. Trotz einiger Jahrhunderte philosophischer Arbeit ist aber bis heute die große Masse der Laien noch nicht über die primitivste Auffassung dieser Verhältnisse hinausgekommen, die direkt auf den Animismus der Naturvölker zurückgeht: „die Seele", eine Art von Einwohner in dem Leibe, ein Wesen, das beim Tode „entweicht" usw. Und selbst den wissenschaftlich gebildeten Menschen pflegt in unserer unphilosophischen Zeit das Problem, um das es sich für die Philosophie hier in letzter Linie handelt, nicht immer völlig klar zu sein. Machen wir es uns deshalb zunächst an ein paar Beispielen deutlich. Dort ist eine schwingende Stimmgabel. Die Physik und die Physiologie belehren uns, daß von ihr Luftwellen ausgehen, daß diese unser Trommelfell, dann die Gehörknöchelchen, endlich das Labyrinthwasser in ebensolche mechanische Schwingungen versetzen. Diese letzteren nun erregen in dem Gehörnerven, der das Innere des Labyrinths durchzieht, irgendwelche Vorgänge, die uns einstweilen noch recht dunkel sind, jedenfalls aber wohl in das Gebiet der elektrochemischen Erscheinungen gehören. Als solche pflanzen sie sich, nach Art eines Wellenstoßes im Gehörnerven fort bis ins Gehirn, wo dann in gewissen Teilen der grauen Rinde des großen Gehirns ebenfalls irgendwelche elektrochemische Veränderungen sich abspielen werden. Und dann — hören wir eben einen Ton. Nehmen wir nun statt der den Ton aussendenden Stimmgabel irgend etwas anderes, einen heißen Gegenstand, der uns eine Wärmeempfindung erregt, einen kantigen, der unsere Tastnerven empfindlich reizt, eine Lampe, die uns Licht zustrahlt — es ist stets dasselbe, sobald wir mit der Verfolgung des betreffenden Reizes bis zu dem betreffenden Nerven gekommen sind. Von hier an haben wir stets eine Fortleitung gewisser uns freilich einstweilen ziemlich unbekannter Vorgänge bis ins Gehirn und dann dort eine zweifellos meist sehr verwickelte Gruppe von ebenso unbekannten physiologischen Veränderungen. Wahrscheinlich ist dabei nur, daß das, was in dem Sehnerven sich abspielt, wenn er vom Licht gereizt wird, nicht wesentlich verschieden ist von dem, was im Gehörnerven vorgeht, wenn ihn die Schallwellen treffen usw., und daß ebenso auch die Vorgänge im Gehirn qualitativ jedesmal gleich sein werden. Denn alle Nerven sind durchaus gleich gebaut (wenigstens im Prinzip gleichartig) und ebenso alle Ganglien der grauen Gehirnrinde. Wie können nun diese Vorgänge in Nerven und Gehirn, die nur Unterschiede der Quantität und Intensität und der A n o r d n u n g zuzulassen scheinen, wie können

sie zu den gänzlich unvergleichbaren, qualitativ total verschiedenen Sinnesempfindungen führen (von Willensimpulsen ganz zu schweigen)? Ganglien sind Ganglien, das eine wie das anderemal, aber ein Ton und eine Farbe sind etwas absolut Unvergleichbares, eine Empfindung „heiß" oder „kalt" wieder etwas ganz anderes usw. Hat man sich einmal diese scheinbar gänzlich ratlose Frage vorgelegt, so ist es nur noch ein kleiner Schritt zu der Einsicht, daß überhaupt die Empfindung selbst (auch abgesehen von dem Unterschied ihrer verschiedenen Qualitäten) etwas gänzlich Neues, anderes ist, im Vergleich zu den im Gehirn stattfindenden physiologischen Vorgängen, mögen diese nun elektrochemische oder was sonst immer sein. Hätten wir eine „astronomische Kenntnis" der Vorgänge im Gehirn, wir würden doch immer nur einen Haufen sich bewegender Elektronen oder ein System irgendwelcher anderen physikalischen Größen sehen, in dem gewisse Veränderungen stattfinden. Aber was in aller Welt hat das, was wir da sehen würden, mit der Empfindung zu tun, die der betreffende Besitzer dieses Systems dabei hat?

Das also ist das psychophysische Problem — die völlige Unvergleichbarkeit der seelischen Vorgänge (Empfindungen, Willensregungen usw.) mit den physiologischen, die wir uns als ihre körperlichen Begleiterscheinungen im Gehirn denken müssen; und es ist leicht einzusehen, daß dieses Problem vorläufig auch nicht klarer wird, wenn wir von dem höchst entwickelten Organismus zu dem primitivsten hinabsteigen. Nehmen wir nach allem, was oben gesagt wurde, mit einiger Sicherheit an, daß auch in einer Amöbe, wenn sie ein Stückchen Nahrung ergreift, eine Art von dumpfem Lustgefühl sich regt — wir wissen nichts darüber, aber wir müssen das aus Kontinuitätsgründen wohl folgern —, so bleibt es immer das nämliche Problem, wie dieses „Gefühl" mit den körperlichen Zuständen und Vorgängen zusammenhängt, mit denen es verknüpft zu denken ist. Man könnte sogar sagen, die Sache werde nur um so dunkler, je weiter wir uns von uns selbst entfernten. Denn während wir hier beim Menschen wenigstens die seelischen Erscheinungen aus der Selbstbeobachtung kennen, sind dieselben bei den anderen Wesen unserer direkten Erfahrung auf ewig entzogen und müssen selbst erst auf Grund von Analogien aus den allein beobachteten körperlichen Erscheinungen hinzugedacht werden. Also — könnte man folgern — wird es sicherlich das Gegebene sein, mit dem Menschen zu beginnen. Diese Überlegung wäre nun aber doch nicht ganz richtig. Denn, wenn es auch schwierig sein mag, auf Grund bloßer Analogieurteile sich ein

Bild von dem Seelenleben *niederster Tiere zu* machen, so hebt das doch nicht auf, daß bei diesen *sicherlich die* einfachsten Verhältnisse vorliegen und daß daher, *wenn überhaupt, dann* hier der Hebel anzusetzen sein wird zur Lösung des *Problems*[109].

Fragen wir deshalb *zunächst,* welche Erscheinungen denn bei jenen einfachsten aller lebenden *Wesen* die Annahme eines psychischen Gegenstückes nahelegen, so werden wir auf das geführt, was bereits oben unter den Funktionen der lebenden Zelle genannt wurde, auf die sog. Sensibilität und Kontraktilität des Protoplasmas. Wir beobachten, daß auch einfache einzellige Wesen auf gewisse Reize, z. B. Licht, hin bestimmte Handlungen ausführen, z. B. sich fortbewegen, drehen, aufrollen u. a. m. Ganz dieselben beiden Elemente, Sensibilität und Kontraktilität des Plasmas, finden wir nun aber auch bei den höheren Wesen überall da in Tätigkeit, wo sich, soweit wir wissen, seelische Vorgänge abspielen. Bei jeder Muskelbewegung z. B., die durch unseren Willen veranlaßt wird, finden solche Reizungen der einzelnen Zellen und daraufhin Kontraktionen des Plasmas statt. Wir dürfen deshalb mit gutem Grunde annehmen, daß dies wirklich die Elementarvorgänge sind, bei denen wir die Untersuchung des psycho-physischen Problems anzusetzen haben würden. Soll es überhaupt gelöst werden, so muß sicherlich zuerst hier ein volles Verständnis gewonnen sein, wo die Sachlage noch nicht durch die ungeheuerliche Verwicklung und Durchkreuzung der Wirkungen so vieler Einzelzellen ganz unübersehbar kompliziert liegt. Wie weit ist man denn nun also in dem Verständnis jener einfachsten „Reizhandlungen" Einzelliger gekommen?

Wir müssen uns leider eingestehen, daß von einem Verständnis dabei überhaupt vorläufig keine Rede sein kann, daß vielmehr alles, was wir bisher haben, nichts als „brutale Tatsachen" sind, für die wir keinerlei Erklärung wissen. Wir haben mit anderen Worten nichts als eine große Summe einzelner Beobachtungen. Man hat die Bewegungen, die die lebende Zelle auf gewisse Reize hin ausführt, in zwei Gruppen geteilt. Handelt es sich um Bewegungen, die frei bewegliche (schwimmende) Zellen ausführen, indem sie etwa der Reizquelle zuwandern, so spricht man von Taxis (Chemotaxis, Phototaxis usw.), handelt es sich um Formänderungen festsitzender Zellen, wie etwa bei denen einer höheren Pflanze, die sich dem Lichte zuwendet, so spricht man von Tropismus (Heliotropismus, Geotropismus u. a.). Viel mehr als eine Klassifizierung mit Hilfe gelehrter griechischer Namen ist das aber bisher eigentlich nicht, so interessant und über

raschend auch alle die festgestellten Tatsachen sind. Es seien hier nur ein paar Beispiele genannt. Bei jeder höheren Pflanze wächst der Stengel stets von der Erde weg, die Wurzel der Erde zu (negativer und positiver Geotropismus); daß die Zellen der oberirdischen Teile sich so zusammenziehen, daß die Pflanze sich der Sonne zuneigt, ist schon erwähnt*). — Infusorien zeigen meist eine auffällige Empfindlichkeit für Licht, sie vermögen sogar die Farben des Spektrums zu unterscheiden und sammeln sich deshalb bei Beleuchtung mit den verschiedenen Farben in dem Bezirk eines bestimmten Spektralbereichs an (Phototaxis). — Leitet man den elektrischen Strom durch das Wasser eines Aquariums, worin sich z. B. Kaulquappen befinden, so stellen diese sich stets mit dem Kopfe nach der Anode hin; dagegen wachsen Wurzelfäden der Kathode zu, und wiederum stellen sich gewisse Protozoen quer zum Strom, während andere zu einem Pol hinwandern (Galvanotaxis, Galvanotropismus). Derartiger Tatsachen kennt man Hunderte, aber es ist aus dem allen bisher keinerlei Resultat von allgemeiner Bedeutung herausgesprungen.

Nur eine bedeutsame Folgerung hat sich bei diesen Versuchen überall ergeben. Es hat sich stets gezeigt, daß alle diese Reizhandlungen mit automatischer Regelmäßigkeit erfolgen. Kehrt man beispielsweise bei dem genannten Versuch mit den Kaulquappen den Strom um, so kehren sich sofort auch sämtliche Tiere um, „sie machen wie auf Kommando Kehrt". Mit derselben absoluten Sicherheit wandert der Samenfaden auf die Eizelle zu (Chemotaxis), wächst die Wurzel senkrecht nach unten usw. Kurz, — es steht das eine fest, daß bei diesen einfachsten Handlungen lebender Wesen, denen wir mit gutem Grunde ein psychisches Erleben zur Seite stellen können, eine unabänderliche Kausalität herrscht, die durchaus dem von anorganischen Systemen her bekannten Befunde entspricht. Wir dürfen deshalb, nein, wir müssen sogar eine solche Kausalität auch in den Fällen annehmen, wo scheinbare Willkürlichkeiten oder Launen vorliegen, wie z. B. bei den Vorgängen der Nahrungsaufnahme oder der Zellkonjugation, die ja nicht immer, sondern nur in gewissen Zeiträumen erfolgen. Es ist wohl nicht zu

*) Wahrscheinlich haben die höheren Pflanzen allerdings besondere „Sinneszellen", von denen dann der Reiz auf die anderen Zellen ausgeht (Haberlandt).

bezweifeln, daß dies abwechselnde Einsetzen und Aussetzen solcher Vorgänge daher rührt, daß das Innere der betreffenden Zelle zuerst in einer gewissen dazu notwendigen Verfassung sein muß, die sich erst allmählich einstellt (s. o. S. 270).

Allein das psycho-physische Grundproblem ist nun mit der Erkenntnis dieser Kausalität keineswegs gelöst, sondern nur auf seiner untersten Stufe erfaßt. Denn die Frage bleibt deshalb doch bestehen: Was geschieht denn nun eigentlich seelisch, wenn wir körperlich diesen oder jenen Vorgang (Reizhandlung) beobachten? Wie hängt das eine mit dem anderen zusammen? Wenn die oben genauer ausgeführte Anwendung des Kontinutiätsprinzips als zulässig erkannt wird, so müssen wir doch annehmen, daß mit einer solchen Reizhandlung auch bei einem einfachsten Protozoon mindestens irgend ein stumpfes Lust- oder Unlustgefühl oder ähnliches verknüpft ist. Es wird gewiß zulässig sein, die weitere Hypothese zu wagen, daß auf dieser tiefsten Stufe vielleicht selbst eine Differenzierung solcher seelischen Ereignisse in die großen Kategorien des Empfindens und Denkens, des Wollens und des Fühlens noch nicht stattfindet. Wie vielmehr der ganze Vorgang der Reizhandlung ein durchaus einheitliches Gepräge hat, so mag auch ein entsprechend einfacher und einheitlicher seelischer Vorgang diesem parallel gehen. Aber das alles, auch die denkbar größte Vereinfachung des Problems also, hebt die grundsätzliche Schwierigkeit desselben in nichts auf, die in der völligen Unvergleichbarkeit der körperlichen beobachtbaren Vorgänge mit den hinzuzudenkenden seelischen Erlebnissen des betreffenden Wesens besteht.

Man hat vielfach geglaubt und ausgesprochen, dieser Unbegreiflichkeit könne man entgehen, wenn man sich zur Annahme des H y l o z o i s m u s, also der „Beseelung" auch der anorganischen Natur entschlösse (s. o. S. 278). Allein es ist leicht einzusehen, daß die Frage auch damit um nichts klarer, sondern wieder nur eine Stufe weiter zurückgeschoben wird. Denn ist es unerklärlich, was eine Zellkontraktion mit einer etwaigen einfachsten Willensregung zu tun hat, so ist es um nichts begreiflicher, wenn wir zu den Molekülen und Atomen und Elektronen hinabsteigen. Der Dualismus von Materie und Seelenleben gähnt uns ebenso unüberbrückt an, wie vorher, und wie er es bei Spinoza tat, der seiner „Substanz" einfach die zwei „Attribute" Denken und Ausdehnung beilegt.

Oder sollte gar das ganze Problem, das uns hier vor Augen liegt, eine einzige ungeheuerliche Täuschung, eine Vexierfrage, beruhend auf einer

ganz falschen Fragestellung sein? Es gibt zwei Richtungen in der Philosophie, die dies behaupten.

Der Materialismus erklärt, das Seelische sei gar keine Realität für sich, es sei ein bloßer Schein, eine Funktion des Körperlichen, das in Wahrheit allein existiert. Leider verrät uns der Materialist aber nicht, wie die Materie, die wir Gehirn nennen, auf den gänzlich verkehrten Gedanken kommt, in ihr stecke noch etwas mehr als bloß Materielles, ja wie sie darauf kommt, sich überhaupt etwas einzubilden. Sie gleicht dem Münchhausen, der sich an seinem eigenen Schopfe aus dem Sumpfe zieht, denn es ist und bleibt, wie Du Bois Reymond gesagt hat, ein unbegreifliches Rätsel, wie es einem Haufen durcheinander wirbelnder Atome (Elektronen usw.) nicht in alle Ewigkeit gleichgültig sein sollte, was in ihm und mit ihm geschieht. Der Materialismus leugnet einfach das psycho-physische Problem — car tel est son plaisir. Es wird ihm aber immer wieder mit den seelischen Erscheinungen gehen, wie den gelehrten Herren in der Walpurgisnacht mit dem Geisterspuk:

> Ihr seid noch immer da? Nein, das ist unerhört!
> Verschwindet doch, wir haben aufgeklärt.

Der Materialismus ist zu oft widerlegt, als daß es sich lohnte, hier noch näher sich darauf einzulassen.

Ernst genommen zu werden verdient dagegen die zweite philosophische Richtung, für die das psycho-physische Problem nur ein Scheinproblem ist, beruhend auf einer Frage, die nicht gefragt werden sollte. Das ist der schon oben mehrfach genannte Positivismus Machs und Petzoldts, dem sich hier der „Empiriokritizismus" von Avenarius, der „Psychomonismus" von Verworn und Heymanns u. a. anschließen. Wir haben oben diese Philosophie mehr nach der erkenntnistheoretischen Seite hin verfolgt. Es ist aber, davon jetzt abgesehen, leicht zu erkennen, daß mit ihr gleichzeitig eine Auflösung des psycho-physischen Problems gegeben ist. Die „Materie", das „Ding" ist, wie wir dort sahen, nach Mach ja nichts als ein „Gedankensymbol für einen Empfindungskomplex von relativer Stabilität". Das eigentlich Wirkliche sind die psychischen „Elemente" (Farben, Töne, Drucke, Räume, Zeiten ...), und das Konstante an der Welt sind die zwischen diesen Elementen stattfindenden, von der Wissenschaft in Funktionsgleichungen $F(A, B, C \ldots) = 0$ ausgedrückten Beziehungen. Unter den Elementen A, B, C ... unterscheiden wir leicht eine gewisse Gruppe $\alpha, \beta, \gamma \ldots$, die untereinander genauer zusammenhängen und die

wir unser „Ich" nennen (zu ihnen gehören auch die „Erinnerungen"). Diesen in gewissem Sinne gegenüber steht eine andere Gruppe von Elementen K, L, M . . ., die wir die physikalische Welt nennen, und derenBeziehungen wir uns bemühen, unabhängig von den Elementen $\alpha, \beta, \gamma \ldots$ zu ermitteln, indem wir Physik treiben. Die Erforschung der Beziehungen der $\alpha, \beta, \gamma \ldots$ untereinander ist dagegen die Aufgabe der Psychologie, die der α, β, γ, zu den K, L, M vermittels einer gewissen Gruppe von Mittelelementen K', L', M' die wir unseren Leib nennen, ist das Gebiet der Physiologie[110]. Ziel der Wissenschaft ist es, alle diese Beziehungen möglichst vollständig und auf die einfachste Weise darzustellen (Denkökonomie). Die Vorstellungen von „Dingen" ist eine Fiktion, eine Täuschung, hervorgerufen durch die relativ zeitliche Konstanz, mit der gewisse Elementbeziehungen ausgezeichnet sind. Ein Stück Eis beispielsweise ist nichts als die zeitlich konstante Verbindung der Empfindungen (Elemente): hart, kalt, durchsichtig usw. Die sich immer wiederholende Erfahrung, daß diese Elemente in dieser bestimmten Verbindung auftreten, drücken wir kurz — denkökonomisch — durch das eine Wort: Eis aus. Der Dualismus von Körperlichem und Seelischem muß nach dieser Auffassung notwendig ein Scheinproblem sein, er ist nach Mach „künstlich und ohne Not herbeigeführt". Die „gänzliche Fremdartigkeit der oben bezeichneten Situation" (s. S. 280) ist nach Mach „eine Illusion"[111].

Auf die Gefahr hin, von meinen Fachgenossen, in deren Kreisen durch den Einfluß von Mach und Verworn diese Philosophie gegenwärtig noch fast ausschließlich dominiert, als Ketzer von vornherein nicht für voll gerechnet zu werden, muß ich hier doch erklären, daß sie mir keine zureichende Lösung des Problems zu geben scheint, so verlockend die Aussicht auch erscheint, dies schwerwiegendste aller philosophischen Probleme auf diese Weise mit einem Schlage sich ins Nichts verflüchtigen zu sehen. Leider reicht der verfügbare Raum hier nicht zu einer ausführlichen Kritik aus. Ich muß auf die Arbeiten von Hönigswald u. a.[112] verweisen und mich hier mit ein paar Hauptpunkten begnügen.

Das erste und Hauptbedenken gegen diese Philosophie scheint mir die unmögliche Doppelrolle zu sein, die das „Ich" darin spielt, einerseits als „Elementenkomplex von relativer Stabilität", andererseits als Subjekt des wissenschaftlichen Erkennens, auch der positivistischen und anderer Philosophien. Wie ein Komplex von Elementen der ungeheuerlichen Täuschung des psycho-physischen Problems nicht nur,

sondern einer „Täuschung“ überhaupt verfallen, und wie derselbige Elementenkomplex dann sich berichtigen und — in Machs Philosophie — sich wieder in den Urbrei der Elemente selbst zurückstoßen kann, das scheint mir die Leistung des materialistischen Münchhausen noch um das Doppelte zu übertreffen.

Mit dieser, die ganze Gedankenführung Machs durchziehenden Gegenüberstellung der Wahrheit und Täuschung, die nach den Prinzipien des Systems selbst unmöglich sein sollte, hängt die schon früher (S. 31) angeführte Gegenüberstellung des „Tatsächlichen und Hypothetischen“ eng zusammen. Beides ist auf dem Boden des Positivismus selber ganz unmöglich. „Die Richtigkeit der Theorie setzt, wie H u s s e r l in einem ganz analogen Fall sagt[113], die Unvernünftigkeit ihrer Prämissen, die Richtigkeit der Prämissen, die Unvernünftigkeit der Theorie voraus.“

Auf die Unklarheit in den Aussagen der Positivisten, ob eigentlich die „Elemente“ oder die „Beziehungen“ das Reale sind[114], soll hier kein großer Wert gelegt werden.

Sehr bedenklich dagegen scheint mir ferner die zweifache Rolle zu sein,— welche die Z e i t in diesem philosophischen System spielt. Das „Ding“, auch das „Ich“, sind „Gedankensymbole für Empfindungskomplexe von relativer Stabilität“. Stabilität heißt soviel wie zeitliche Konstanz:

$$\frac{d}{dt}(K, L, M \ldots) = 0.$$

Nun sind aber Raum und Zeit nach Mach ja selber Elemente. Diese Gleichungen $\frac{d}{dt} = 0$ unterscheiden sich also in keiner Weise von anderen Funktionsgleichungen zwischen den Elementen. Wie kommt es, daß nun gerade die Gleichungen $\frac{d}{dt} = 0$ den Anlaß zu der bewußten „Hypostasierung der Dinge an sich“ bieten?

Endlich aber, was hier nun die Hauptsache ist, erklärt der Positimus uns vovisr allem nicht die wunderbare Tatsache, daß wir nicht nur unseren eigenen Elementenkomplex ($\alpha, \beta, \gamma \ldots$) unberechtigter Weise als ruhenden Pol „Ich“ in der Erscheinungen Flucht betrachten, sondern vor allem, daß wir zu gewissen Gruppen A, B, C der sog. Außenwelt, nämlich den Körpern unserer Mitmenschen bzw. der höheren Tiere uns ganz bestimmte Elemente $\alpha', \beta', \gamma' \ldots$ h i n z u d e n k e n , von denen wir noch dazu überzeugt sind, niemals direkt etwas er-

fahren zu können, und die wir trotzdem ebenso fest als „wirklich" annehmen, wie unsere eigenen α, β, γ ... Heymanns hat sich die größte Mühe gegeben[115], diesen bedenklichsten Punkt des „psychomonistischen" Systems aufzuhellen. Man kann ihm insoweit zustimmen, als es allerdings an sich nichts Ungewöhnliches ist, daß wir zu den beobachteten Elementen noch andere in Gedanken hinzufügen, die nicht wirkliche, sondern nur mögliche Beobachtungen darstellen. Dies geschieht ja auch in der Physik überall, um uns den Ablauf der Dinge verständlich zu machen. — Aber nun erwäge man einmal, was das in unserem Falle, wo doch nicht wie in der Physik diese hinzugedachten Elemente möglicherweise erfahrbar, sondern (für mich) schlechterdings unerfahrbar sind, heißen will. Hier ist ein Elementenkomplex $L_x\ M_x\ N_x$ ... meiner Erfahrung, den ich die Vorgänge im Gehirn des Menschen X nenne (es sei angenommen, daß solche Erfahrung in aller Genauigkeit möglich sei). Mit ihm denke ich mir nun notwendig verbunden ein gewisses Element ϱ_x, z. B. „Rot" als Empfindung jenes Menschen X, d. h. als Bestandteil des Komplexes $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$ ... Nichts leichter denkbar als das, sagt der Psychomonist. Es besteht eben neben den anderen vielen Beziehungen von Elementen auch die zwischen den $L_x\ M_x\ N_x$ ... und dem ϱ_x ... Sehr schön. Allein ich denke, das wußten wir schon. Es fragt sich aber gerade, warum und worin diese Beziehung besteht. Das Problem, wie die Gehirnprozesse mit den zugehörigen Empfindungen zusammenhängen, wird mit anderen Worten um nichts klarer dadurch, daß ich jene Gehirnprozesse selbst in eine Summe von Empfindungen (eines dritten) auflöse. Wir verfolgten oben den Weg eines Schallreizes vom Trommelfell bis ins Gehirn. Die „Schallwelle" ist ja nun nach psychomonistischer Ansicht nichts als ein „denkökonomischer" Ausdruck für gewisse Empfindungskomplexe des Physikers. Es sei so. Das Gleiche gilt für die Begriffe: Trommelfell, Gehörknöchelchen, Nerv, Gehirnmoleküle usw. Alles nur symbolische Ausdrücke für Elementenkomplexe — meinetwegen. Aber was in aller Welt zwingt uns denn nun, in diesem Falle nicht, wie sonst immer in der Physik, bei diesen Elementenkomplexen zu bleiben, sondern uns das unserer Erfahrung auf ewig entrückte ϱ_x hinzuzudenken? — Das psycho-physische Problem ist nicht beiseite geschafft, es ist nur in eine andere Sprache übersetzt.

Hiermit mag es genug sein. Der Psychomonismus scheint mir, so verlockend die von ihm eröffnete Aussicht ist, nicht den gangbaren Weg zur

Umgehung des Problems zu bieten. — In der Erkenntnis der Unmöglichkeit diesem zu entrinnen, begnügen sich denn heute viele mit der einfachen Feststellung des Parallelismus zwischen Körperlichem und Seelischem (den sie dann auch meist auf das anorganische Gebiet, also zum Hylozoismus oder zur „Allbeseelung“ erweitern). Der Hauptsatz der Anhänger des Parallelismus ist das Verbot des sog. influxus physicus*), d. i. einer direkten Wirkung des Körperlichen auf das Seelische und umgekehrt. Körperliches wirkt nur auf Körperliches, Seelisches nur auf Seelisches, sagt man. Beides geht aber stets unzertrennlich nebeneinander her und stellt wahrscheinlich, uns freilich unerkennbar, nur zwei verschiedene Seiten einer und derselben Sache dar, die dann die meisten Parallelisten freilich doch wieder auf erkenntnistheoretischem Wege als geistiger Natur auffassen[116]. Man sieht dann freilich wieder nicht ein, warum der influxus physicus so streng verpönt sein soll.

Die Wahrheit ist, daß das Verbot des influxus physicus heute nicht mehr eine Konsequenz der philosophischen Theorie, sondern eine notwendig erscheinende Folgerung aus einer Erfahrungstatsache ist. Diese Erfahrungstatsache ist die Gültigkeit des Energiegesetzes auch für diejenigen physiologischen Vorgänge, die wir als von seelischen Vorgängen begleitet anzusehen haben. — Durch zahlreiche Versuche (Rubner u. a.) ist festgestellt worden, daß auch bei intensivster geistiger Arbeit oder Willensanstrengung keine Energie im Gehirn entsteht oder verschwindet, vielmehr die gesamte in Gestalt von Nahrung und Sauerstoff zugeführte Energie sich in der Körperwärme und den Ausscheidungen wiederfindet, wie sonst. Was geändert wird, ist lediglich die Geschwindigkeit des Energieumsatzes. Der stark geistig arbeitende Mensch gebraucht unter sonst gleichen Umständen mehr Nahrung als der geistig träge, aber — er produziert dafür auch entsprechend viel Energie in Gestalt von Wärme usw. mehr. Aus diesem Grunde ist es u. a. auch durchaus unzulässig, wenn viele Energetiker (s. S. 74) von „psychischer“ Energie reden, als ob das neben chemischer, elektrischer, mechanischer . . . Energie eine neue besondere Energieform wäre, und etwa das Denken in einer Umsetzung chemischer Energie (des Plasmas) in solche psychische Energie bestände. Dann müßte ja ein Fehlbetrag nach-

*) Der Ausdruck stammt aus der Zeit der Begründung der neueren Philosophie (Cartesius).

weisbar sein, um den die dem Körper zugeführte Energie die abgegebene überstiege. — Aus diesen Tatsachen nun ergibt sich das Verbot des influxus physicus. Denn, wenn ein physikalisch-chemischer Prozeß (im Gehirn) beeinflußt werden soll, so kann dies nur geschehen durch Zufügung einer, wenn auch sehr kleinen Energiemenge im geeigneten Augenblick, der sog. Auslösungsenergie. Sollte also z. B. ein Willensentschluß das physiologische Geschehen im Gehirn beeinflussen und damit direkt eine Muskelbewegung veranlassen, so müßte ein kleines Quantum „auslösender" Energie mindestens hinzugefügt werden. Woher aber dieses, da doch die Energiekonstanz auch für die Gehirnvorgänge nachgewiesen ist?

Man hat gegen diesen Gedankengang in neuerer Zeit (Busse, Driesch) geltend gemacht, es handele sich eben hierbei nicht um eine Zufuhr von Energie, sondern nur um eine „Leitung" des Energieablaufs, wie sie doch auch sonst überall zu beobachten sei, wo Mensch oder Tier in die Natur eingreifen. Wir bemerken leicht, daß wir hiermit wieder an demselben Flecke stehen, wo im vorigen Kapitel der Vitalismus stand. Tatsächlich handelt es sich auch um ein und dasselbe, denn gerade jene Vitalisten, von denen dort die Rede war, sind die neueren „Psychovitalisten", für sie fällt das Seelische mit der dort besprochenen „Entelechie" in eins zusammen. Die dort gegen diese Auffassung angeführten Argumente sind daher hier zu wiederholen, und es mag nur noch hinzugefügt werden, daß der Hinweis auf die „Leitung" des Energieumsatzes durch den Menschen einen circulus vitiosus enthält. Wodurch leitet denn der Mensch das Spiel der Naturkräfte? Doch nur, indem er im richtigen Augenblick geringe, oft auch gar nicht so unbeträchtliche Energiemengen seinerseits aus seinen Muskeln hinzufügt. Wer aber veranlaßt die Muskeln dazu? Das Gehirn, und damit stehen wir wieder gerade vor dem Problem, das uns das Gleichnis von der „Leitung" erklären sollte, das aber selbst somit in dieser Leitung schon steckt.

Es scheint somit der influxus physicus eine hoffnungslose Annahme zu sein. Und doch bäumt sich in jedem einfach denkenden, noch nicht von des erkenntnistheoretischen Gedankens Blässe angekränkelten Menschen etwas dagegen auf. Man braucht nicht einmal das berühmte Beispiel von dem Telegramm mit dem angekommenen bzw. umgekommenen Fritz heranzuholen, um sich klarzumachen, welch ungeheure Überzeugungskraft der allgemeinen Meinung von der direkten Wechselwirkung innewohnt und welche künstlichen und schwerfälligen Konstruktionen der Parallelismus an deren Stelle zu setzen genötigt ist. Es liegt mir deshalb auch gänzlich fern,

mit dem oben Gesagten die Sache für erledigt zu halten und ein Problem, das seit Jahrhunderten die größten Geister beschäftigt hat, hier auf ein paar Seiten lösen zu wollen. Für den Hauptzweck dieses Buches genügt es, wenn dasselbe möglichst klar herausgearbeitet ist. Trotzdem mag es gestattet sein, wenn der Verfasser, um nicht mit einem völligen Verzicht auf alle Einsicht hier abzuschließen, nicht nur seiner Überzeugung Ausdruck gibt, daß auch dieses sprödeste aller Probleme sich doch eines Tages als lösbar erweisen wird, sondern auch versucht, wenigstens in ein paar Linien anzudeuten, in welcher Richtung er die Lösung des Problems zu suchen geneigt ist. Es ist dies ungefähr die Richtung, welche in der philosophischen Kunstsprache als die „Hypothese des unbekannten Dritten" bezeichnet wird. Doch halte ich es im Gegensatz zu den üblichen Formulierungen dieser Hypothese gerade für nötig, dieses „Unbekannte" näher zu definieren, mit anderen Worten, wir werden dabei nicht darum herum kommen, nähere Aussagen zu machen, welche unserer im ganzen noch metaphysikfeindlichen Zeit nicht recht genehm sind, ohne die wir aber hier so wenig jemals weiter kommen werden, wie die Physik und Chemie, wenn es nach den waschechten „Antimetaphysikern" gegangen wäre, jemals zur modernen Atomistik gelangt wären. Wenn zwei so heterogene Dinge, wie Körperliches und Seelisches unter einen Hut gebracht werden sollen, so m u ß man eben, man mag wollen oder nicht, sich zu noch viel gewagteren und tiefer grabenden Hypothesen entschließen, als wenn man mit E i n s t e i n Elektrizität und Mechanik in eins zusammenschweißen will. Wir sind aber auf diesem anscheinend uferlosen Meere doch auch nicht ganz ohne Leuchtfeuer. Als solche scheinen mir nämlich schon heute einigermaßen folgende Punkte festzustehen. 1. Die dynamistische Auffassung der Materie (s. S. 150), welche es erlaubt, das Sein in ein Geschehen aufzulösen. 2. Die Einbeziehung der Zeit und des Raumes unter die Objekte der Physik, die durch die Relativtheorie gegeben wird. Durch sie wird, wie dort gezeigt, alle Naturgesetzlichkeit, a u c h d i e z e i t l i c h e K a u s a l f o l g e, umgewandelt zu einer zeitlosen rein gedanklichen G e l t u n g, mit anderen Worten, aus dem metaphysischen Weltgrunde oder doch zum mindesten jenem „unbekannten Dritten" hinter Seele und Körper verschwindet das Merkmal der Zeitlichkeit, und die uns als kausal erscheinende Folge der p h y s i s c h e n s o w o h l a l s d e r p s y c h i s c h e n Erscheinungen (denn die Zeitlichkeit teilt das Seelische mit dem Körperlichen für uns) verwandelt sich in die rein logische „Ordnung". 3. Die Realität der Beziehungsbegriffe (bzw. der Uni-

versalien, s. u. S. 68, 275), sie setzt Bezogenes und Beziehung als gleich real in jenem Weltgrund verankert. 4. Die Tatsache der unbedingten Kausalität der einfachsten Reizhandlungen bei den Protozoen, denen wir doch andererseits aus Kontinuitätsgründen ein seelisches „Erleben" zuordnen müssen. Sie lehrt uns, daß zum mindesten auf dieser Stufe der Gegensatz zwischen der kausalen Ordnung des Physischen und der Teleologie des Psychischen noch nicht ein so tiefgreifender sein kann, wie er uns beim Menschen erscheint. Endlich werden hinzugenommen werden müssen 5. die Ergebnisse der Tierpsychologie und der Kindespsychologie, welche einen Einblick in die allmähliche Entstehung des komplizierteren bewußten Seelenlebens zu geben versprechen, wobei freilich nicht verschwiegen werden soll, daß hier noch eine ungeheure Zahl ungelöster Probleme vorliegt. So ist zunächst gänzlich unklar, wie bei einem mehrzelligen Wesen sich die Gesamtseele zu den einzelnen „Zellseelen" verhält. Ferner bedenke man Fragen wie etwa die, was aus der „Seele" eines Regenwurms oder gar einer Planarie wird, die man in soundsoviele Teile teilt (s. o. S. 253), welche dann einzeln das Ganze regenerieren.

Wenn nun aber unter Berücksichtigung alles dessen ein Philosoph es schon heute versucht, uns in kühnen Linien ein metaphysisches Gebäude zu entwerfen, in dessen zwei Stockwerken die Physik und die Psychologie Platz haben, so kann dies meines Erachtens nicht mehr als überflüssig, geschweige denn als gefährlich für die unbefangene Spezialforschung angesehen werden. Die Zeit der dogmatischen Metaphysik ist ein für allemal vorbei, es bedarf heute nicht einmal mehr der Kantschen Vernunftkritik, um sich davon zu überzeugen; die ganze Geschichte der Wissenschaft und der Philosophie beweist es handgreiflich. Es ist das unvergängliche Verdienst Ed. von Hartmanns, den die große Welt leider immer noch nur als den Philosophen des „Unbewußten" kennt, dessen Hauptleistung jedoch auf dem erkenntnistheoretischen Gebiet in der Begründung des „kritischen Realismus" liegt[117], die neue Aufgabe einer „Metaphysik a posteriori" entdeckt und damit endlich die Kantsche von dem alten absoluten Wissenschaftsbegriff ausgehende Fragestellung überwunden zu haben (vgl. dazu S. 70). Der tiefer blickende Leser wird die Grundlinien einer solchen Metaphysik schon durch das Vorhergehende haben durchschimmern sehen. Es ist ein „objektiver Idealismus", zu dem der erkenntnistheoretische Realismus hier hinüberführt: die Welt ein System von Ideen, aber nicht des erkennenden Verstandes (denn das führt schließlich stets zum Solipsismus

und Illusionismus, zu dem „Schein, der zu scheinen scheint"), sondern eines Absoluten, das zugleich Logik und Wille ist, in dem als Subjekt die Welt ruht und das zugleich Objekt ist für das endliche, auf einen kleinen Ausschnitt der Welt beschränkte Teilsubjekt, das wir Menschen- bzw. Tierseele nennen, und das „den großen Gedanken seines Schöpfers noch einmal denkt". Hier liegt, wie schon S. 88 erwähnt, die letzte Wurzel des psychophysischen Problems. Sie spitzt sich, so aufgefaßt, in der Frage zu, wie wir uns innerhalb des Absoluten, d. i. Gottes, die selbständige Existenz des Menschengeistes (um gleich den schwierigsten Fall zu nehmen) vorzustellen haben. Aber hier ist nicht der Ort, darauf näher einzugehen. Ich beabsichtige niemandem diese Metaphysik aufzureden. Von dem Gedanken an eine allgemein gültige Metaphysik sind wir, wie schon oben erwähnt, heute wohl überhaupt geheilt. Wenn wir aber in ihr nichts weiter suchen, als eine Gesamtansicht von der Welt und uns selber, die einen möglichst ungezwungenen Anschluß an die wissenschaftliche Erkenntnis sowohl als an andere ebenso reale Faktoren unseres Lebens und unserer Kultur gestattet und sich dabei nur möglichst frei von inneren Widersprüchen hält, so werden wir nunmehr auch berechtigt sein, noch einen kurzen Blick auf die

Metaphysischen Konsequenzen des Vitalismus oder Mechanismus

zu werfen. Eine solche Untersuchung würde selbst dann wertvoll sein, wenn wir auch nur hypothetisch feststellten, wie sich diese Konsequenzen gestalten würden, wenn der Vitalismus oder der Mechanismus Recht behielte. Und am wertvollsten würde diese Untersuchung dann werden, wenn etwa als Resultat dabei herauskäme, daß die Gesamt-Weltanschauung im letzten Grunde sogar ganz von der mechanistisch-vitalistischen Frage unabhängig sein kann.

Es ist bekannt, daß in der allgemeinen Meinung, wie auch in einem großen Teil der populären Weltanschauungsliteratur, der Mechanismus fast als zusammenfallend mit dem Atheismus, der Vitalismus dagegen mit dem Theismus gilt. Daß dies falsch ist, beweist ja schon der Umstand, daß die dritte Hauptkategorie von Weltanschauungen, der Pantheismus, hierbei dann leer ausginge. — Machen wir uns deshalb zunächst einmal in aller

Kürze den Kernpunkt der drei fraglichen Weltanschauungen (besser: Weltanschauungsarten) klar. Unter Atheismus soll hier jede Weltanschauung verstanden werden, für die die Welt als Ganzes genommen eine unpersönliche und nur körperliche S a c h e , ein Neutrum, eine Maschine, oder noch weniger: ein bloßes Konglomerat einzelner solcher Maschinen ist — weiter nichts. Es ist bemerkenswert, daß sich in dieser Auffassung der Atheismus mit der d e i s t i s c h e n Abart des Theismus eng berührt, der nur noch hinzufügt, daß diese ganze ungeheure Weltenmaschine, die jetzt mechanisch da ihr Spiel herunterleiert, einmal vor sehr langer Zeit von einem Gott geschaffen wurde, der sich aber dann im allgemeinen nicht weiter darum bekümmert, sondern sie sich selber überläßt. Dieser dem Atheismus und dem deistischen Theismus gemeinsamen Ansicht steht mehr oder weniger deutlich gegenüber die des Pantheismus und des richtig verstandenen christlichen Theismus. Nach dem Pantheismus ist die Welt als Ganzes genommen ein großer Organismus, das Einzelne hat nur seinen Sinn als Glied des Ganzen. Hierbei steht es dem Pantheisten dann noch frei, sich dieses Ganze als sich seiner selbst bewußt oder ganz oder halb unbewußt zu denken (F e c h n e r , H e g e l , H a r t m a n n , S p i n o z a) und sich so mehr oder weniger dem Atheismus oder dem Theismus zu nähern. Für diesen letzteren ist die Welt selbstredend das auch, was sie dem Pantheisten ist, ein sinn- und zweckvolles Ganze, aber sie ist es nicht als Organismus, der sich selbst genügt, sondern als Tat, als Schöpfung eines seiner selbst bewußten Wesens, dessen geistiger Inhalt sich mit dieser Weltensymphonie noch keineswegs zu erschöpfen braucht. — Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, wie flüssig die Grenze sowohl zwischen dem Atheismus und Pantheismus, als erst recht zwischen Pantheismus und Theismus ist. Vor allem aber verdient hervorgehoben zu werden, daß der Theismus in dem hier gemeinten Sinne durchaus nicht gleichgesetzt werden darf mit der landläufigen Ansicht von Gott als Mechaniker und Aufzieher der großen Weltenuhr, die bereits oben gekennzeichnet wurde. Das ist vielmehr der echt jüdisch-materialistische Deismus, der freilich einen unverkennbaren Einschlag auch des Christentums bildet, aber von diesem doch immer wieder zugunsten eines dem Pantheismus verwandten I m m a n e n z gedankens zurückgedrängt ist, vor allem da, wo der Einfluß des germanischen Elements in der christlichen Religiosität stärker zur Geltung gekommen ist (vgl. hierzu auch S. 185, 194).

Fragen wir uns nunmehr, welche Beziehungen zwischen dem mechanistisch-vitalistischen Problem und der Weltanschauung bestehen können.

Es ist zunächst klar, daß der *Mechanismus* in der Biologie*) *einschl. der Urzeugungslehre* überhaupt keinerlei direkten Hinweis auf irgendeine der drei Weltanschauungskategorien enthält. Denn selbst den Theisten, erst recht also auch den Pantheisten, verpflichtet ja nichts, um jeden Preis eine Zweistufigkeit der Welt in Materie und Leben festzuhalten. Ist für den Theisten die Welt Gottes Tat vom Elektron und Atom bis zum Menschen hin und zwar zeitlos ewig (s. S. 194), so ist es ganz gleichgültig, ob Gott dieses sein Tun sich in einer oder zwei Stufen vollziehen läßt. Der Theismus beruht nicht darin, daß etwa Gott das „Leben" wirkte, während ohne ihn die Welt der toten Materie von selbst weiterliefe — wer so denkt, der denkt eben halb *deistisch*, nicht konsequent theistisch, jedenfalls nicht christlich. Sondern der Theismus besteht nur darin, daß die letzte Wurzel sowohl des Anorganischen als des Organischen, mögen dies nun zwei oder nur eine Art von Dingen sein, in einem persönlichen, selbstbewußt handelnden Wesen liegt. Wer als Theist meint, sein Theismus käme ins Wanken, wenn er nicht mehr annehmen solle, daß zu einem gewissen Zeitpunkt der Erdgeschichte einmal durch einen besonderen „Schöpfungsakt" Gott die ersten Lebewesen erschuf, kann mit ganz demselben Recht jeden physikalisch-chemischen Prozeß als eine Instanz gegen seinen Gottesglauben betrachten. Daß dieser „aus der Materie immanenten Kräften" vor sich geht, bezweifelt kein Mensch. Etwas anderes behaupten die Mechanisten von der Urzeugung aber auch nicht. Ist letztere also ein Widerspruch gegen den Theismus, so ist es jeder beliebige physikalische oder chemische Vorgang auch (*Dennert*). — Gilt das vom Theismus, so gilt es vom Pantheismus erst recht; *der biologische Mechanismus ist somit mit jeder beliebigen Weltanschauung verträglich.*

Es könnte indes so scheinen, als ob umgekehrt der Vitalismus sich nicht einer ebensolchen Neutralität erfreute, die natürlich immer ein empfehlendes Moment bedeutet. Er scheint vielmehr unmittelbar den Theismus oder mindestens den Pantheismus nach sich zu ziehen, selbst wenn man den Vitalismus auf das Problem der Lebensentstehung, mit anderen Worten, wenn

*) Es ist nicht überflüssig zu bemerken, daß „Mechanismus" und „mechanistisch" hier überall lediglich eine *biologische* Bedeutung hat, die an sich noch nichts mit Weltanschauung zu tun hat. Dies Verhältnis soll ja vielmehr hier gerade untersucht werden.

man sich auf die Ablehnung der Urzeugung beschränkt. So hat es auch Häckel gemeint, wenn er sagt: „Die Urzeugung leugnen heißt das Wunder verkünden". Man muß hier aber vorsichtig sein. Nehmen wir also zunächst einmal an, es sei mindestens die Entstehung der ersten lebenden Zellen aus physikalisch-chemischen Kräften nicht zu erklären, so ergibt sich dann die Frage: Wann ist denn die erste lebende Zelle überhaupt entstanden? Der Theist antwortet vielleicht unbesehens hierauf: Einmal zu einem gewissen Zeitpunkt, als Gott den richtigen Moment dafür gekommen hielt, erschuf Gott solche Zellen. — Aber es gibt noch eine andere Antwort, nämlich diese: das Leben „entstand" überhaupt nicht zu einem bestimmten Zeitpunkte auf dieser Erde zum ersten Male, sondern es war längst da, ehe die Erde fähig war, lebende Wesen zu beherbergen. Es war überhaupt immer da, das Leben ist gerade so ewig wie die Materie, und die Frage nach seinem Ursprung steht völlig auf einer Stufe mit der Frage, woher die Welt überhaupt, die materielle Wirklichkeit gekommen ist. — Man nennt die Lehre, daß es Leben überall im Weltenraume gibt, daß unsere Erde durch Lebenskeime aus dem Weltenraume her besiedelt worden sei, Panspermielehre oder Kosmozoenhypothese, ihr Hauptverfechter ist bekanntlich gegenwärtig Svante Arrhenius[116]. Während nun aber die früheren Verfechter dieser Lehre nur mit großer Mühe den Transport von Keimen durch den Weltenraum plausibel machen konnten und dazu vulkanische Ausbrüche oder was sonst alles zu Hilfe nehmen mußten, ist es Arrhenius wenigstens gelungen, eine Kraft aufzuzeigen, die diesen Transport vielleicht besorgen könnte. Das ist der von Maxwell aus der elektromagnetischen Lichttheorie bereits errechnete, von Lebedew später experimentell nachgewiesene Lichtdruck, d. h. der Druck, den elektromagnetische Wellen gegen einen Gegenstand ausüben, auf den sie auftreffen (S. 113). Da dieser Lichtdruck der Oberfläche, die Gravitation aber dem Volumen, jener also der zweiten, diese der dritten Potenz der Lineardimensionen proportional sich ändert, so leuchtet ein, daß von einer bestimmten Kleinheitsgrenze an, die abstoßende Kraft des Lichtdruckes die anziehende der Gravitation überwiegen muß. Die Rechnung zeigt, daß für ein Körperchen von Kugelform und dem spezifischen Gewicht 1 beide Kräfte unter Annahme der Sonne als Anziehungs- und Strahlungsquelle sich gerade das Gleichgewicht halten, wenn das Körperchen ca. 0,00015 mm dick ist.

Soweit klingt ja das alles nun recht einleuchtend. Es stehen aber der Arrheniusschen Hypothese doch eine ganze Anzahl erheblicher Bedenken

entgegen. Zunächst gibt es, soweit bisher bekannt, jedenfalls nur wenige Lebewesen, deren Kleinheit die hier angegebene Grenze erreicht. Es wurde oben (S. 218) Esmarchs Spirillum parvum mit 0,1—0,3 μ Durchmesser angeführt, und die Existenz noch wesentlich kleinerer Ultramikroben, die oft als Hypothese ausgesprochen ist, ist sehr fraglich, da es eigentlich Gelegenheiten genug gegeben hätte, bei denen man sie hätte entdecken können und müssen, wenn sie häufiger vorkämen[119]. Doch mag man also immerhin einiges Recht zu der Annahme haben, daß es solche Lebewesen gibt, die vom Strahlungsdruck transportiert werden könnten. Es kommen aber andere Bedenken hinzu, die wir hier kurz anführen wollen:

1. Die Kälte des Weltraumes müßte die Bakterien auf ihrer langen Reise — bis zum nächsten Sonnensystem (α-Centauri) gebrauchen sie nach Arrhenius ca. 9000 Jahre! — töten. Dem steht freilich entgegen, daß die niedrigsten Lebewesen sich gerade durch eine ganz auffallend große Kältebeständigkeit auszeichnen (s. S. 207). Bölsche hat diese Tatsache direkt als eine Anpassung an die extreme Kälte des Weltenraumes betrachtet — Arrhenius findet ihre Erklärung darin, daß die Kälte alle chemischen Reaktionen verlangsamt und zwar ungefähr in geometrischer Reihe. Wenn die Temperatur um 10° sinkt, so verlangsamt sich eine Reaktion ungefähr auf das doppelte, bei 100° Temperaturerniedrigung also schon auf das $2^{10} = 1024$fache. Immerhin ist dieser Punkt nicht unbedenklich.

2. Die Bakteriensporen würden im absolut trockenen Weltenraume dem Tode durch Austrocknen verfallen, selbst wenn sie sonst eine Reisedauer von 9000 Jahren überstehen könnten.

3. Das intensive, nicht durch die Atmosphäre gedämpfte ultraviolette Licht würde alle Bakterien töten. Arrhenius' Gegenargument, daß diese Wirkung nur bei Anwesenheit von Sauerstoff einträte, hat seine Bedenken.

4. Die Bildung derartiger Sporen setzt bereits hoch organisierte Wesen voraus, während sie doch die primitivsten Keime alles Lebens sein sollen.

5. Es erfordert besondere Hypothesen, um das erstmalige Abkommen dieser Keime von einem belebten Planeten zu erklären.

6. Die Atmosphäre müßte doch nach dieser Annahme auch jetzt noch Keime, die uns von außen zuwandern, erhalten. Nach allen bisherigen Versuchen ist sie aber schon in ca. 2000 m Höhe keimfrei, und die einzelnen Keime, die man gelegentlich in größerer Höhe findet, erweisen sich als bekannte irdische Arten.

Nach alledem kann man es begreiflich finden, wenn zahlreiche Forscher, auch solche, denen es dabei um keinerlei Hintergedanken betr. der Weltanschauung zu tun ist, die ganze Lehre von der Panspermie verwerfen. Es kommt dazu noch ein anderer Punkt. Man wird nämlich sagen, die ganze Panspermielehre sei auch noch nicht einmal eine Lösung für das Problem, das sie zu lösen vorgebe. Denn damit, daß wir die Frage, wie das Leben entstanden sei, von der Erde in den Weltenraum verschieben, sei sie um nichts klarer geworden. Ist es hier unbegreiflich, wie sich Plasmastoffe zu einer lebenden Zelle zusammenfügen könnten, so ist es im Weltenraum um nichts wahrscheinlicher. Man kann auch nicht sagen, wir kennten anderweitig ja die Bedingungen gar nicht — im Gegenteil, diese sind hier bei uns sicher so günstig wie nur möglich. Es handelt sich ja gar nicht um andere Bedingungen, sondern um das höchst unwahrscheinliche Zusammentreffen einer Unzahl notwendiger Bedingungen (s. S. 232 ff.). Daß beim Zusammenschütteln von Buchstaben ein Gedicht entsteht, ist im Weltenraum nicht wahrscheinlicher als auf der Erde. Dies trifft alles vollkommen zu. Die Panspermielehre schiebt in der Tat das ungelöste Problem der Lebensentstehung nur zurück, sie löst es nicht. Aber, wie schon vorhin bemerkt wurde, sie gibt ihm nun doch ein ganz anderes Gesicht, indem sie es auf eine Stufe mit dem Problem der Existenz einer Welt überhaupt stellt. Alle Naturforschung wird stets auf irgend ein letztes Gegebenes geführt (vgl. auch S. 184), auf Erklärungsprinzipien, die selbstredend nicht weiter erklärt, sondern einfach als „so seiend" hingenommen werden müssen. Die Frage, um die sich der mechanistisch-vitalistische Streit dreht, ist die, ob die biologischen Erscheinungen außer den physikalischen noch neue Erklärungsprinzipien benötigen. In die Erforschung dieser Frage hat der Naturwissenschaft keine Metaphysik hineinzureden. Wenn sich nun aber herausstellen sollte, daß wir hier wirklich mit den Prinzipien der Physik nicht auskommen, also der Vitalismus Recht behielte, so ist es offenbar nur eine Frage von untergeordneter Bedeutung mehr, zu welchem Zeitpunkte der Weltgeschichte ein solches zweistufiges System zum ersten Male auftrat, oder ob überhaupt kein solcher Zeitpunkt angebbar ist, wie die Panspermielehre will. Nicht der zeitliche Anfang, sondern die Unmöglichkeit, eine Lebensentstehung überhaupt aus physikalisch-chemischen Kräften zu begreifen ist dann die Hauptsache.

Sieht man aber die Sache so an, so leuchtet eher ein, daß der Vitalismus nicht ohne weiteres zum Theismus hinführt.

Denn der Schluß von der Zweistufigkeit der Welt auf den Gottesbegriff wäre ja nichts anderes, als der alte „kosmologische Gottesbeweis", dessen wesentlichster Inhalt ist: Weil die Welt gerade so und nicht anders ist, darum muß es einen Urheber geben, der sie gerade so und nichts anders gemacht hat oder macht. Bekanntlich läßt sich der kosmologische Gottesbeweis leicht dadurch wieder anfechten, daß man weiter fragt, wer denn wieder der Urheber dieses Urhebers sei usf. in infinitum. Der ganze „Beweis" zeigt also nur aufs deutlichste, daß man schließlich immer bei einem letzten Gegebenen in Gedanken stehen bleiben muß. Es ist dann aber Geschmacksache, ob man sich mit der Existenz der bloßen Tatsachen begnügen oder alles auf einen geistigen Urheber zurückführen will.

Die Panspermielehre ist deshalb so wertvoll, weil sie diesen Sachverhalt deutlicher wie die beiden anderen Hypothesen (Urzeugung, Schöpfungsakt) erkennen läßt. Dies klar herausgestellt zu haben, bleibt ihr Verdienst, auch wenn sie selber wieder aufgegeben werden müßte. In der üblichen Fassung der theistischen „Schöpfungslehre" tritt der einzig zulässige Gesichtspunkt, diese Dinge zu betrachten, leicht etwas mehr zurück, als für eine konsequente Weltanschauung erträglich ist. Unwillkürlich rückt nämlich die „Erschaffung der Welt" für den Gläubigen in unabsehbare zeitliche Fernen vor der „Erschaffung des Lebens" zurück und damit ganz aus dem Gesichtskreis heraus. „Das Leben" erscheint als eine nicht nur neue und höhere, sondern direkt als Gottes würdigere, göttlichere Stufe gegenüber der „toten" Materie. Diese, die kalte, leere, starre hyle gewinnt einen ungöttlichen, ja widergöttlichen Anstrich, Motive aus alter und ältester dualistischer Philosophie*) klingen hier hinein, und der G e g e n s a t z ist fertig zwischen dem göttlichen „Leben" und dem widergöttlichen „toten Stoff". Daß dies gerade vom Standpunkt des richtig verstandenen Theismus aus gänzlich verfehlt ist, bedarf eigentlich keiner Erörterung, und doch wird es immer wieder vergessen. Und darum ist es gut, daß die Panspermielehre diese ganze Situation mit einem Schlage klar macht. Die Grundfrage, auf die es hier für die Weltanschauung ankommt, ist nicht die, w a n n das Leben entstand, sondern woher Leben u n d Materie, seien es nun eine oder zwei Stufen der Welt, überhaupt stammen. D i e a l l g e m e i n ü b l i c h e

*) Persische Religion, Platonismus, Neuplatonismus, Gnostizismus bezeichnen die Hauptstationen dieses Stromes, der schließlich ins Christentum zum Teil einmündet.

Fragestellung, ob das Leben ewig sei, oder ob es von Gott geschaffen sei, ist genau so falsch wie die oben (S. 185) erwähnte analoge Frage betr. der physikalischen Welt.

So ist denn das Gesamtergebnis dieser kurzen Untersuchung dies, daß weder der Mechanismus noch der Vitalismus notwendig zu einer bestimmten Weltanschauung führen, vielmehr beide sich mit jeder Art von Weltanschauung in Einklang bringen lassen. Das ist ein sehr weittragendes Resultat, denn es befreit uns in der naturwissenschaftlichen Frage grundsätzlich von jedem Schielen nach rechts und links und damit vor einer steten Verführung zu voreiligem Dogmatisieren vorläufiger Ergebnisse. Mit der so gewonnenen völligen Unvoreingenommenheit wollen wir uns nun demjenigen Problem zuwenden, das vor allen übrigen eine gesonderte Besprechung verdient, das ist

IV. Das Problem der Artenbildung.

Wir wollen uns dabei von vorherein jetzt auf den Standpunkt stellen, daß lebende Zellen einmal vorhanden sind; woher, das bleibt nunmehr dahingestellt. Können wir dann nicht wenigstens den ferneren Teil des Weges von ihnen bis zu den höheren und höchsten Organismen verstehen? Stellt sich auf der untersten Stufe diesem Problem zunächst eine Reihe von Schwierigkeiten entgegen, so hindert das uns nicht, es vielleicht anderswo in Angriff zu nehmen. Es wird sich dann, wenn nur erst einmal überhaupt ein Anfang gemacht ist, wohl auch ermöglichen lassen, es nach unten hin schließlich bis ans Ende, d. h. auf die einfache Zelle hin, zu verfolgen. Und so liegt die Sache in unserem Falle nun wirklich. Die Ursprünge sind uns vorläufig freilich noch recht dunkel, nicht nur die Entstehung lebender Zellen überhaupt, sondern auch die Anfangsstadien der höheren Bildungen liegen einstweilen fast völlig im Dunkel. Aber helles Licht herrscht doch schon in vielen anderen Partien dieser großen Frage, und ein Gesamtbild wird bereits in seinen großen Umrissen erkennbar, das vielleicht die bedeutendste und umfassendste Leistung der ganzen bisherigen Biologie zu heißen verdient.

Bekanntlich steht die Frage der Entstehung der Arten seit Jahrzehnten schon im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses an der Biologie. Den historischen Gang der Dinge hier auseinanderzulegen führt zu weit. Es mag nur daran erinnert werden, daß die vorliegende biologische Frage früher aufs engste verknüpft erschien mit gewissen mehr physikalischen Fragen, nämlich den geologischen. Heute gilt das freilich fast nur mehr in einem rein wissenschaftlichen Sinne, der jenseits allen Streites liegt. Früher waren es aber zwei einander bekämpfende Ansichten, die auf den beiden Gebieten

gleichzeitig um alleinige Anerkennung rangen. Auf der einen Seite stand die (ältere) „Katastrophentheorie" oder der sog. Vulkanismus in der Geologie (Cuvier), verknüpft mit der Ansicht, daß alle Arten von Organismen jedesmal nach einer solchen Katastrophe fix und fertig neu geschaffen wurden. Dies würde dann im Grundgedanken mit dem noch älteren Satze Linnés übereinstimmen: Tot sunt genera et species, quot ab initio creatae sunt. Dieser Theorie gegenüber gewann die Theorie der allmählichen Umwandlungen in der Geologie durch Lyell (Neptunismus), in der Biologie durch Lamarck und Darwin schließlich doch das Übergewicht, endgültig freilich erst durch des letzteren epochemachendes Werk (1859). In der Folgezeit hat man eingesehen, daß wenigstens, was die Geologie betrifft, das Streiten um den Vulkanismus und Neptunismus ein verfehltes Beginnen war, daß es sich dabei nur wieder um eine jener völlig überflüssigen Alternativen handelt, die entstehen, wenn man aus einer richtigen Erklärung vieler Erscheinungen die einzige Erklärung für alle Erscheinungen machen will. In Wahrheit ist, wie stets in solchen Fällen, beides, was scheinbar miteinander streitet, gleichberechtigt. Die Erde erfährt ebensowohl allmähliche Umbildungen, als auch wenigstens aller Wahrscheinlichkeit nach gelegentliche größere Katastrophen in einzelnen ihrer Teile. Zu den ersteren rechnet man neuerdings außer der Wirkung des Wassers (daher der Name: Neptunismus) und des Windes, der Wärme, vor allem auch etwaige Veränderungen in der Lage der Erdachse, sowie horizontale Verschiebungen der „Festlandschollen" (Wegener[120]) u. a. Es kann uns hier gleichgültig sein, wieviel an all diesen Hypothesen und Erklärungsversuchen richtig ist. Ein wesentliches Interesse der Philosophie oder der Weltanschauung besteht an der Entscheidung dieser Dinge im einzelnen nicht mehr. Wie schon weiter oben auseinandergesetzt wurde, ist die Erkenntnis von der langen Geschichte unserer Mutter Erde:

> „Und was sie alles durchgemacht, bis sie es dann so weit gebracht,
> Daß man gemächlich ohn' Beschwer' drauf geht umher",

so sehr Allgemeingut geworden, daß an jenen Hypothesen und sicheren Resultaten im einzelnen eigentlich nur noch der Naturwissenschaftler im engeren Sinne ein Interesse nimmt, und höchstens dann, wenn eine direkte Beziehung einer solchen Lehre zu einer bestimmten Frage der Artenbildung vorliegt, scheint für einige Augenblicke auch ein philosophisches Interesse

daran wieder wachgerufen zu werden. Um so stärker richtet sich das Interesse auf dieses Problem selbst. — Die heute allgemein in Geltung stehende*) Anschauung ist die sog.

Abstammungs- oder Deszendenzlehre,

welche besagt, daß die lebenden Organismen in ihren einzelnen Arten nicht von allem Anfang an vorhanden waren und auch nicht jede Art für sich nacheinander entstanden, sondern daß die gegenwärtig vorhandenen Pflanzen- und Tierarten von früheren anders gestalteten abstammen, daß also das ganze Tier- und Pflanzenreich einen Stammbaum mit einer oder mehreren Wurzeln (monophyletische" oder „polyphyletische" Hypothese) vorstellt, worin im großen und ganzen das Einfachere das Ältere, das stärker Gegliederte und höher Entwickelte das Spätere ist.

Es ist oft genug hervorgehoben und doch immer wieder vergessen worden, daß diese Lehre, die Deszendenzlehre als solche, noch keinerlei Annahme voraussetzt 1. über die Einzelheiten der Umbildung und Weiterbildung der früheren Arten zu den späteren, sowie 2. über die treibenden Faktoren dieser Fortbildung. Allerdings ist die Erforschung auch dieser Faktoren und die genauere Ausführung jenes Vorganges im einzelnen eine für den Anhänger der Abstammungslehre unabweisliche Forderung. Wir werden auf diese Fragen später zurückkommen, einstweilen jedoch lediglich die Abstammung als solche ins Auge fassen.

Was zunächst die Vorfrage nach dem Sinn und der Beweisbarkeit (nicht der Erwiesenheit) der Deszendenzlehre anlangt, so muß hier auf das oben S. 27 ff. über naturwissenschaftliche Hypothesen überhaupt Gesagte zurückverwiesen werden. Aus den dort angeführten Gründen ist es nicht zu billigen, wenn manche überkritische Gelehrte auch hier wieder fast ausschließlich

*) Mit Ausnahme von Fleischmann (Erlangen) steht wohl die gesamte akademische Vertretung der Biologie auf dem Boden der Abstammungslehre, wenn auch viele sie nur als „heuristische Maxime" oder „Arbeitshypothese" gelten lassen. Fleischmann ist zu seiner Ablehnung übrigens keineswegs durch religiöse oder philosophische Gründe bestimmt, sondern lehnt als Überempirist alles, was über die „direkte Beobachtung" hinausgeht, ab. Vgl. dazu S. 197.

den heuristischen Wert der „Hypothese“ betonen und am liebsten die Frage: Richtig oder falsch? ganz vor der Frage: Wozu brauchbar? in den Hintergrund treten lassen möchten. Das heißt die Naturwissenschaft um ihr bestes Teil bringen (wenn auch natürlich bona fide). Die Deszendenzlehre hat entweder Recht oder nicht, oder vielleicht auch halb Recht oder Recht innerhalb gewisser Grenzen, das ist das einzige, was mich dabei interessiert und was jeden, der nicht Fachgelehrter ist, allein interessieren kann. Mag der Fachgelehrte mit heuristischen Hypothesen arbeiten — was kümmert das meine Weltanschauung? Aber das möchte ich wissen, wenn es eben gewußt werden kann, wie die zahllosen Arten wirklich entstanden sind. Sie sind doch entstanden; die Paläontologie beweist, daß sie früher nicht da waren, sondern andere statt ihrer. Sind diese anderen nun ihre Vorfahren oder nicht? Das ist eine Frage nach einem reellen Sachverhalt, die sich der Art nach in nichts von der Frage: Woran starb Sokrates? unterscheidet. Will man auch der griechischen Altertumswissenschaft hierbei den heuristischen Wert der Hypothesen so warm ans Herz legen? Also reell gemeint ist die Deszendenzlehre, und daher ist sie grundsätzlich (vgl. S. 197) auch beweisbar oder widerlegbar. Es fragt sich nur, ob sie es auch praktisch ist. Auch hier muß man innerhalb gewisser Einschränkungen die Frage bejahen. Wir haben erstens die Urkunden der Geologie und Paläontologie, die in noch immer steigendem Maß zutage gefördert werden. Diese Urkunden können günstigenfalls uns wenigstens in einzelnen Fällen direkte Beweise für die Deszendenzlehre bieten. Sie können vielleicht auch das Gegenteil beweisen, obgleich dies deshalb von vornherein viel unwahrscheinlicher sein würde, die Unrichtigkeit der Lehre einmal vorausgesetzt, weil ein negativer Beweis stets erheblich schwieriger ist als ein positiver. — Wir haben zweitens die genaue anatomische, physiologische, geographische usw. Untersuchung des gegenwärtigen Bestandes der Organismenwelt und ihrer etwaigen Veränderungen unter unserer Kontrolle und können möglicherweise von da aus Rückschlüsse auf die Vergangenheit machen. Dem steht nicht entgegen, daß wir vordem nicht dabei gewesen sind, deshalb also solche Schlüsse stets hypotetisch bleiben müßten[111]. Es kann damit so gehen wie mit den Molekülen, die wir auch bisher niemals gesehen haben und deren Existenz doch heute ziemlich sicher feststeht. Wir haben endlich die allgemeinen Gründe für und wider zu erwägen, die zwar natürlich in einer Erfahrungswissenschaft nicht ausschlaggebend sein dürfen, aber immerhin das Gewicht der naturwissenschaftlichen Gründe verstärken oder abschwächen können.

Soviel über die Mittel zur Entscheidung. Wir brauchen nicht hinzuzufügen, daß diese kurze Übersicht uns immerhin von vornherein zur Bescheidenheit ermahnt, aber nicht zu jener quasi Bescheidenheit, die sich plözlich in Agnostizismus verwandelt, wovon oben die Rede war, sondern zu jener, die sagt: Es ist wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich so, aber ein Irrtum ist vorläufig noch nicht ausgeschlossen.

Und welches ist nun das Ergebnis? Wir beginnen, wie es sich geziemt, mit den direkten Beweismitteln, die uns die Geologie liefern soll. Da wir nicht nach berühmten Mustern uns „durch die Tatsachen der Geologie und Paläontologie erwiesene Stammbäume" zusammenkonstruieren wollen, müssen wir leider eingestehen, daß das Resultat bislang ein ziemlich mageres ist. Die Paläontologie beweist jedenfalls nichts gegen die Deszendenzlehre. Sie zeigt im großen und ganzen eine aufsteigende Entwicklung des Artenreichtums und der Formen — was an einzelnen Ausnahmen dieser Regel zu widersprechen scheint, gehört eben zu den Ausnahmen, die die Regel bestätigen. Es gibt z. B. zweifelsohne schon in den ältesten Schichten (Kambrium, Silur) einzelne ziemlich hoch entwickelte Arten (Trilobiten), sogar Wirbeltiere treten bereits in den frühesten Schichten auf; es gibt ferner für die meisten Familien, Klassen usw. meist eine besondere „Glanzperiode", so für die Reptilien im Mesozoikum, worauf dann ihr Artenreichtum wieder zurückgeht; es gibt endlich auch eine ganze Zahl von Organismen (z. B. Lingula, Terebratula), die sich seit den ältesten Zeiten nicht oder nicht wesentlich verändert haben. Das alles aber beweist nichts gegen eine allgemeine aufsteigende Entwicklung. Die Paläontologie beweist aber auch positiv in einzelnen Fällen in der Tat eine direkte Umbildung der Artmerkmale; sie zeigt uns also in diesen einzelnen Fällen das Werden einer neuen Art handgreiflich. Wie vorsichtig man freilich auch hierbei sein muß, zeigt besonders deutlich das sog. „Paradepferd" der Abstammungslehre, die allmähliche Heranbildung des heutigen einzehigen Pferdefußes aus einem mehrzehigen normalen Säugetierfuß (Abb. 45). Wenn die in dieser Reihe geordneten fossilen Tiere wirklich die Ahnenreihe des Pferdes wären, so müßten offenbar nicht nur die Füße, sondern auch andere Merkmale die gleiche Reihe bilden. Dies ist jedoch z. B. hinsichtlich des Gebisses nicht der Fall und damit wird diese Reihe doch wieder unsicher. Es ist aber gelungen, in einigen Fällen tatsächlich solche Reihen zu bilden, die gleichzeitig viele Merkmale umfassen[111]. Diese können dann als wohlbegründete Ahnenreihen gelten.

Es muß allerdings zugegeben werden, daß derartige wirkliche Abstammungsreihen bisher nur ganz vereinzelt gefunden sind, und daß der Ausweg, wir hätten die Erdrinde nur noch nicht genügend durchforscht, immerhin zunächst einiges Bedenken erregt. Stellt man sich auf den Boden der Deszendenzlehre überhaupt, so kann man sagen, daß die Veränderung der Arten aller Wahrscheinlichkeit nach keineswegs immer mit gleichmäßiger Geschwindigkeit erfolgt ist, sondern, daß bei einer jeden Art oder Familie vielleicht Zeiten rascher Veränderung mit Zeiten größerer Konstanz abgewechselt haben. Dadurch und wahrscheinlich durch das Eintreten fast oder ganz

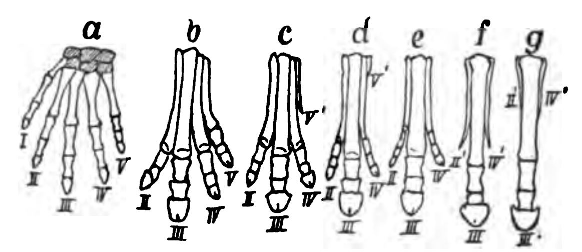


Abb. 45. Entwicklung der Hand in der Vorfahrenreihe des Pferdes. Aus Hesse, Abstammungslehre und Darwinismus, Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin.

sprungweiser Veränderungen erklärte sich dann nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung von selbst, daß man zwar oft hunderte von Exemplaren der älteren und der neueren Art, aber kein einziges der Zwischenglieder findet — entweder waren solche überhaupt nicht da (Mutation), oder der Übergang dauerte so kurze Zeit, daß diese gegen die langen Zeiten vorher und nachher kaum in Betracht kommt. Bei alledem ist aber zweifelsohne zuzugeben, daß die Paläontologie allein uns hier recht häßlich im Stich läßt. Es kommt ihr indessen zugunsten der Abstammungslehre ein Argument von der zweiten Gruppe, der Untersuchung des gegenwärtigen Bestandes, ergänzend zu Hilfe, wodurch wir einigermaßen wahrscheinlich machen können, daß unsere paläontologischen Kenntnisse in der Tat noch recht lückenhaft sein müssen, so lückenhaft, daß das Fehlen der direkten Abstammungszeugnisse eher begreiflich wird.

Dies Argument besteht in der Feststellung einer Unmenge von anatomisch-morphologischen Erscheinungen, die auf keine andere Weise als durch die Annahme einer Umbildung der tierischen bzw. pflanzlichen Organe verständlich sind. Wir können dabei wieder zwei Gruppen von Tatsachen unterscheiden. Für die erstere liefern ein

gutes Beispiel die Vordergliedmaßen der Wirbeltiere. Die Normalform derselben stellt uns etwa der menschliche Arm vor. Wir finden denselben oder einen nur wenig abweichenden Bau aber auch sonst sowohl bei den Säugetieren, als bei anderen Wirbeltierklassen. Das Skelett des Armes besteht stets aus einem Oberarm-, dann zwei Unterarmknochen, dann folgt die Handwurzel, darauf normaler Weise fünf je viergliedrige Knochen, deren erste Glieder beim Menschen die „Mittelhand" bilden, während die letzten drei (nur beim Daumen zwei) zu je einem Finger gehören. Betrachten wir die Vordergliedmaßen solcher Tiere, welche wie der Seehund, der Wal, der Pinguin, an das Wasser, oder wie die gewöhnlichen Vögel an das Leben in der Luft, oder wie der Maulwurf an das Wühlen in der Erde angepaßt sind, so fällt uns fofort auf, daß bei völliger Verschiedenheit des Aussehens und des Gebrauchs dieses Organs in diesen einzelnen Fällen, einer Verschiedenheit, die es äußerlich einem normalen menschlichen Arm gänzlich unähnlich erscheinen läßt, doch der Bauplan des Skeletts völlig derselbe ist. Ob auch unverhältnismäßig verkleinert oder vergrößert, verbogen, verlagert, zusammengewachsen, ja zu geradezu grotesken Formen verunstaltet, wir finden alle einzelnen charakteristischen Teile immer wieder, nur die Zehenzahl ist oft reduziert. Wer diese verschiedenen Bilder „homologer" Organe aufmerksam betrachtet, kann gar nicht anders, als zu dem Schluß kommen, daß hier Umgestaltungen stattgefunden haben müssen. Wenn eine zwecksetzende Intelligenz von allem Anfang an fix und fertig etwa den Maulwurf als Erdwühler mit seinen Grabschaufeln geschaffen hätte, so müßte man annehmen, daß sie geradezu eigensinnig, nur um einen in anderen Fällen vielleicht sehr passenden „Bauplan" auch hier durchzuführen, alle diese verzerrten und abnorm großen oder kleinen Knochenteile mit hineingesetzt hätte. Hingegen erklärt sich die Sache natürlich sehr einfach, wenn wir annehmen, daß von einem ursprünglichen, mehr normalen Durchschnittstyp in allmählicher Anpassung an die betr. Verhältnisse sich diese einzelnen besonderen Formen abgezweigt haben.

Die fraglichen Umgestaltungen können aber noch weiter gehen. Sie können bis zur völligen Funktionsunfähigkeit eines Organs oder Organteils führen. Man spricht dann von rudimentären Organen. Und in dieser zweiten Tatsachengruppe liegt das meines Erachtens zwingendste aller Argumente für die Abstammungslehre.

Nehmen wir beispielsweise die vollständig verkümmerten Augen gewisser Maulwurfsarten, oder die Hinterbeine der Wale, die Schulterknochen

der Blindschleichen, die Gliedmaßen der Riesenschlangen usw. Überall sieht man hier etwas, was auf jeden Unbefangenen nur den Eindruck eines „kümmerlichen Restes" machen kann. Es ist schlechterdings unbegreiflich, was wohl der Wal oder die Riesenschlange mit diesen Andeutungen von Beinen soll[123]. Selbst derjenige, der meint, aus theistischem Interesse die Deszendenzlehre bekämpfen zu müssen, wird nicht bestreiten können, daß es doch absolut unbegreiflich ist, wozu Gott den Walen oder Schlangen diese Dinge sollte anerschaffen haben. In der Tat wagen denn auch die meisten Gegner der Deszendenzlehre diese Deutung, daß die betreffenden Organe verkümmert sind, nicht im allgemeinen, sondern höchstens von Fall zu Fall zu bestreiten. Sobald man aber das zugibt, muß man konsequenter Weise zugeben, daß die Organismen eine viel größere Veränderlichkeit zeigen können, als wir gewöhnlich bei unserer kurzlebigen Betrachtung zu glauben geneigt sind. Wenn eine Entwicklung aus einem vierfüßigen Säugetier zu einem verhältnismäßig so vollkommenen Seetier, wie es der Wal ist, möglich war, so ist überhaupt jede noch so große Veränderung mindestens nicht ohne weiteres als undenkbar von der Hand zu weisen. Zwischen dem, was hiernach die Vorfahren des Wals gewesen sein müssen, und den heutigen Walen besteht ein bedeutend größerer Unterschied als zwischen den Vorfahren, die die Deszendenzlehre für die bekannten Arten stufenweise annehmen muß, und diesen selbst. Nun hatten wir aber in der Tat von einer derartigen Umbildung der Wale bis vor kurzem keinerlei paläontologisches Zeugnis. Erst vor wenigen Jahren sind in Ägypten Skelette von Tieren gefunden worden, die als Vorfahren der heutigen Wale anzusehen sind und eine ziemlich vollkommene Stufenfolge in der Rückbildung der Gliedmaßen zeigen. Und doch zwang uns schon vordem der gegenwärtige Befund die Annahme einer Umbildung hier geradezu auf. Ist es unberechtigt, wenn wir von da aus einen Analogieschluß auf die Unvollständigkeit unserer paläontologischen Kenntnisse überhaupt machen?

Die Erscheinung der umgebildeten und der rudimentären Organe ist, wie schon oben gesagt, wohl das stichhaltigste Argument für die Deszendenzlehre. Alle anderen wird ein Gegner derselben mehr oder minder leicht in Zweifel ziehen können. An dieser Stelle aber setzt er sich notwendig ins Unrecht. Denn entweder er verzichtet auf eine offen am Tage liegende Erklärung: das ist Dogmatismus, mit dem eine weitere Diskussion nicht mehr lohnt — oder aber er gibt zu, daß die betreffenden Organe tatsächlich verändert sind, behauptet aber trotzdem die Konstanz der Arten im allgemei-

nen. Das ist eine Inkonsequenz, die auch der Laie sofort durchschauen muß. Wer als möglich und wahrscheinlich zugibt, daß aus einem normalen vierfüßigen Reptil eine Blindschleiche wurde durch Verlust der Beine, der kann konsequenter Weise die viel geringeren stufenweisen Veränderungen, die die Deszendenzlehre annehmen muß, nicht von vornherein als unmöglich ablehnen. — Zu welchen Inkonsequenzen freilich manche Gegner der Deszendenzlehre kommen, nur um wenigstens einen Teil der überkommenen Konstanzideen zu retten, das sieht man am besten an den nicht seltenen Versuchen, die Deszendenz für die Arten und Gattungen einer Familie zwar zuzugestehen, aber sie für die weiteren Kreise der Klassen, Ordnungen usw. zu bestreiten. Der Zweck dieses Verfahrens ist natürlich, daß der oben erwähnte L i n n é sche Satz dann wenigstens für die zu Anfang „erschaffenen" Familien in Gültigkeit bleibt. Damit soll dann der Theismus wieder einmal gerettet werden. (Ob das überhaupt gegenüber der Deszendenzlehre nötig ist, s. u. S. 319, 349). Dem, der ohne Tendenz an die Sache herantritt, wird es ohne weiteres klar sein, daß, wenn einmal Deszendenz innerhalb der Familien angenommen wird, dann ein Haltmachen bei dieser Grenze, die doch im Grunde genau so rein konventionell ist, wie der Artbegriff, ausgeschlossen ist. Wenn Wölfe, Hunde, Füchse, Schakale einen gemeinsamen Stammbaum haben, dann ist doch kein Grund anzugeben, warum nun nicht etwas weiter zurück auch diese ganze Hundefamilie mit den Katzen, Mardern, Hyänen, Bären usw. sich gemeinsamer Ahnen erfreuen sollte, und noch weiter zurück auch Seehunde, Insektenfresser, Nagetiere usw. in diesen Stammbaum einmünden sollten. Welche Merkmale sollen denn da nun wohl die Grenze bilden, nach denen entschieden werden soll: Gemeinsame Abstammung oder nicht?

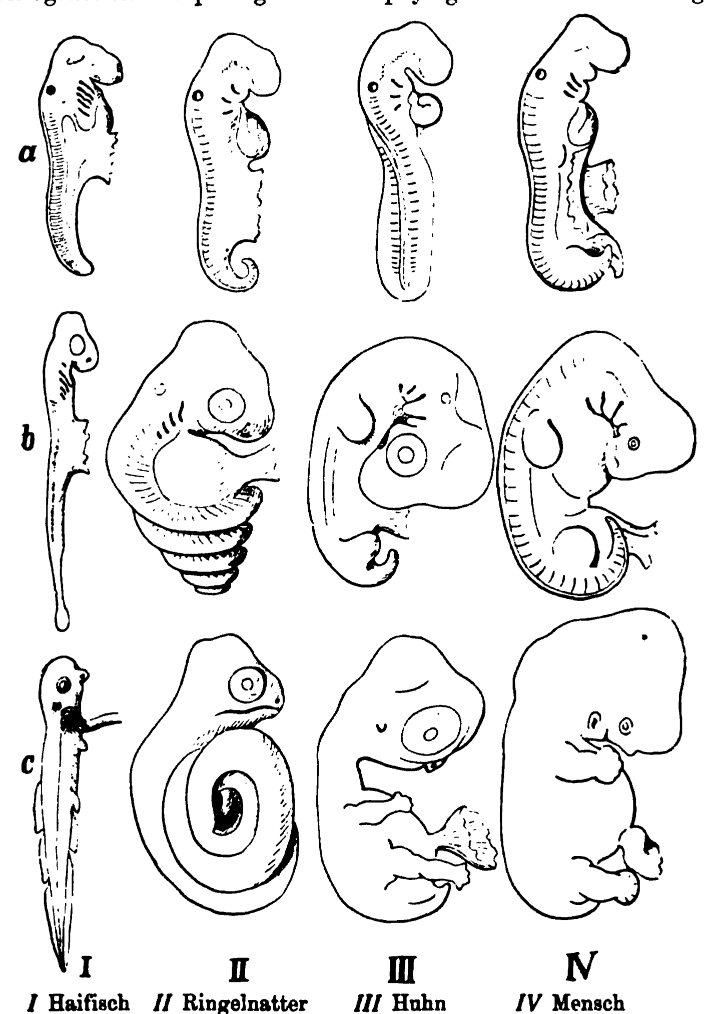
Dies alles ist nun zwar kein absolut zwingender Beweis dafür, daß die Deszendenzlehre notwendig ist, sondern nur dafür, daß sie möglich ist, und daß sie sogar sehr nahe liegt. Die homologen und rudimentären Organe beweisen die Möglichkeit starker Veränderlichkeit der Arten. Sie zeigen damit, daß die Lehre von der absoluten Konstanz der Arten unhaltbar ist, daß also die scheinbar vorhandene Konstanz in keinem Falle als Gegengrund gegen die Deszendenzlehre vorgebracht werden darf. Daran können alle weiteren Argumente nichts mehr ändern. Zu den von den Gegnern der Deszendenzlehre hiergegen vorgebrachten gehört auch dies immer wieder, daß bei allen in menschlicher Zeit vorkommenden Artveränderungen (Rassenzüchtungen, Bastardierungen) stets eine Tendenz zur Rückkehr in die alten

Arten bestehen bleibt (verwilderte Haustiere und Pflanzen!), wie ja auch die Mendelschen Regeln (s. S. 260) deutlich erkennen lassen. Zweifelsohne ist daran etwas Richtiges. Allein 1. gilt es keineswegs ganz allgemein, wie z. B. der verwilderte Haushund Australiens, der Dingo, beweist, es gibt vielleicht auch nicht mendelnde Bastarde, und 2. ist die menschliche Zeit der Züchtung doch im allgemeinen winzig klein gegen geologische Epochen. Endlich beweisen gerade die vorliegenden Fälle, daß jene Rückkehrtendenz auch bei gleich langer Züchtung ebenso von Fall zu Fall ganz verschieden stark ist, wie die Variabilität andererseits. Das Hausschwein ist gegenüber dem Wildschwein kaum wiederzuerkennen und schlägt trotzdem sehr rasch zurück, die Katze ist sehr wenig verändert, die Gans fast gar nicht, das Huhn sehr wechselnd. Mit allgemeinen Erörterungen ist hier also überhaupt gar nichts zu machen. Die Züchtungsversuche beweisen beides: Variabilität und Rückschlagstendenz; und übrigens wird letztere von einem Anhänger der Deszendenzlehre nicht nur zugestanden werden müssen, sondern die Deszendenzlehre muß sie geradezu als notwendig fordern. Die ganze Frage kann im Prinzip auf diesem Wege überhaupt nicht entschieden werden, da alle in menschlich kontrollierbaren Zeiträumen vorgekommenen Züchtungsergebnisse stets sowohl das eine wie das andere beweisen, je nachdem, worauf man gerade achtet. Sie beweisen daher nur sehr deutlich, daß man durchaus jeden einzelnen Fall für sich betrachten muß. Wir lehnen also es auch ab, mit Darwin ohne weiteres aus den Züchtungsversuchen ein Argument für die Deszendenzlehre zu machen. Lassen wir sie ganz beiseite, so bleibt deshalb die Tatsache der Veränderlichkeit der Artmerkmale doch durchaus sichergestellt. Neben den rudimentären Organen sind ein weiterer direkter Beweis aus der Gegenwart für die Möglichkeit der Deszendenzlehre die von de Vries beobachteten sog. Mutationen, d. h. sprunghafte Veränderungen einer bis dahin stets als konstant geltenden Art, meist ein Zerfallen in mehrere Unterarten, die aber nun ihre besonderen Merkmale konstant weiter vererben. Es läßt sich nicht abweisen, daß solche Mutationen auch in früheren Zeiten und in anderen Familien und Klassen als heute vorgekommen sein können, und daß sich so teilweise wenigstens eine Umbildung der Arten erklären kann. Wenn nun dies alles nur Argumente für die Möglichkeit der Deszendenzlehre sind, so gibt die Gegenwart doch auch einige andere, wenn auch weniger durchschlagende direkte Argumente für ihre Wahrscheinlichkeit.

Zu diesen gehört in erster Linie diejenige Tatsachengruppe, welche schon oben (S. 241) kurz gestreift wurde, Häckels sogenanntes „bio-

genetisches Grundgesetz", sagen wir etwas vorsichtiger: die eigentümlichen Ergebnisse der Embryologie, die dartun, daß das einzelne Wesen einen Entwicklungsgang durchläuft, der in vielen Punkten eine auffällige Analogie mit der von der Deszendenzlehre angenommenen Vorfahrenreihe (der Phylogenie oder Stammesentwicklung) zeigt. Hier muß nun allerdings leider die beklagenswerte Tatsache zuerst erwähnt werden, daß die hierauf gerichtete eifrige Forscherarbeit der bisherigen Embryologie ganz außerordentlich in ihrem allgemeinen Werte herabgesetzt wird durch den Parteifanatismus, der sich gerade in diesem Punkte breit gemacht hat. Das ist in erster Linie die Schuld derjenigen Deszendenzfanatiker, die durch ihre maßlos sicher auftretenden Behauptungen den Widerspruch gereizt, und dadurch im Lager der Forschung selbst einen Kampf entfesselt haben, der später mit teilweise recht bedenklichen Mitteln beiderseits geführt worden ist und der deutschen Wissenschaft nicht zur Zierde gereicht. So ist es gekommen, daß es in dem Wust der darüber entstandenen, teilweise auch von Männern der Wissenschaft verfaßten populären Literatur für den Laien fast unmöglich ist, das Tatsächliche herauszuschälen, und selbst in die wissenschaftlichen Werke, ja in die Schulbücher ist der Streit und die vorschnelle willkürliche verallgemeinernde Entscheidung hineingetragen worden, so daß derjenige, der sich nun wirklich objektiv unterrichten möchte, fast ratlos steht vor der Frage, was er denn nun eigentlich glauben darf. Ich will also vorausschicken, daß kaum eine Tatsache hier von den Anhängern des biogenetischen Grundgesetzes als eine Bestätigung ihrer Ansicht aufgeführt wird, ohne daß sogleich von der Gegenseite dieselbe Tatsache entweder als unrichtige Beobachtung gedeutet oder wenigstens ganz anders interpretiert wird. Nehmen wir beispielsweise die berühmten Kiemenfurchen der Säugetierembryonen (auch des Menschen), s. Abb. 46. Die Anhänger Häckels werden nicht müde, uns dieselben als den direkten Beweis für das ehemalige Fischstadium in der Stammesgeschichte der Säugetiere hinzustellen. Ebenso oft wird von der Gegenseite diese Deutung gänzlich abgelehnt und vielmehr die betreffende Furchung für eine nicht phylogenetisch, sondern rein ontogenetisch notwendiges Stadium der embryonalen Entwicklung erklärt, eine Form, die nur deshalb da ist, weil die Herausbildung der endgültigen Form diese Durchgangsstufe notwendig erfordert. Es ist nicht schwer zu begreifen, daß in der Tat auf der Seite der Biogenetiker die Versuchung sehr nahe liegt, rein morphologisch-ontogenetisch zu verstehenden Merkmalen des Embryos einen phylogenetischen Sinn unterzulegen, der ursprünglich ganz fern liegt

und nur von uns hineingelegt wurde, um das „biogenetische Grundgesetz“ darin wiederzufinden. Andererseits ist es aber auch nicht zu verkennen, daß ontogenetisch-morphologische und phylogenetische Betrachtungsweise



I Haifisch *II* Ringelnatter *III* Huhn *IV* Mensch

Abb. 46. Embryonen in drei verschiedenen Altersstufen (nach Hesse).

sich keineswegs auszuschließen brauchen. Was morphologisch auch allein als notwendige Durchgangsstufe zum Endzustand verständlich wäre, kann deshalb doch recht wohl auch gleichzeitig eine Parallele zur Stammesent-

wicklung sein. Ja, man wird sogar sagen müssen: Wenn die Hypothese dieser Parallelität im allgemeinen zutrifft, so m u ß das alte Erbstück von den Vorfahren zugleich vielfach ein notwendiges Inventarstück des Nachkommen sein. Wenn man dies berücksichtigt, so wird man die Versuche, solche onto-phylogenetische Parallelen zu ziehen, nicht gewaltsam auf die wenigen Fälle beschränken, wo sie so offensichtlich sind, daß man sie nicht gut in Abrede stellen kann. Zu diesen gehört beispielsweise die Tatsache, daß die Kälber als Embryonen im Oberkiefer vollständig normale Z a h n a n l a g e n haben, während sie beim entwickelten Rinde bekanntlich zurückgebildet sind (der Oberkiefer ist nur mit einer Hornplatte bedeckt). Ähnlich haben auch die Walembryonen wenigstens Zahntaschen, während die erwachsenen Bartenwale überhaupt keine Zähne, sondern die bekannten Barten haben. In Anbetracht solcher nicht zu bestreitender Fälle von „Atavismus" in der Embryonalentwicklung wird man sich also die Möglichkeit oder Zulässigkeit einer phylogenetischen Parallele auch in anderen, nicht ganz so sicheren Fällen freihalten dürfen. So z. B. bei den Kiemen der Froschembryonen, die ja diesen (den Kaulquappen) sicherlich ein unentbehrliches Instrument, also auch rein morphologisch begreiflich sind, trotzdem aber doch zugleich auch recht gut ein Erbstück mehr fischartiger Vorfahren bedeuten können, die es überhaupt noch nicht zum Amphibium gebracht hatten. Oder bei der menschlichen Thymusdrüse, die beim Erwachsenen normalerweise zurückgebildet ist. — Man erkennt leicht, daß die hierhin gehörigen Erscheinungen aufs engste verknüpft sind mit den oben unter dem Stichwort: „Rudimentäre Organe" erwähnten. In beiden Reihen handelt es sich um Anlagen, die ihren Zweck verfehlten. Es macht keinen großen Unterschied, ob nun von diesen Anlagen noch im erwachsenen Individuum Reste stehen geblieben sind, oder ob sie nur während des Embryonalzustandes sichtbar sind und dann ganz verschwinden.

Mit diesen ontophylogenetischen Parallelen ist nun aber doch der Deszendenzlehre ein etwas festerer Boden unter die Füße gegeben, besonders in Hinsicht auf die Ermittlung des Stammbaumes im einzelnen. Denn während die rudimentären Organe im ganzen doch nur Ausmerzungserscheinungen bedeuten, die über die genetische Verwandtschaft nichts Neues aussagen können, wenigstens nichts, was die systematische Verwandtschaft nicht so schon ergäbe (z. B. daß die Ahnen der Wale vierfüßige Säugetiere gewesen sein müssen), lassen die onto-phylogenetischen Parallelismen gegebenenfalls doch Schlüsse zu, die weit über das Gebiet der nächsten syste-

matischen Verwandtschaft hinausführen können, wie man an dem Beispiele der „Kiemenfurchen" des Menschenembryos — seine Richtigkeit vorausgesetzt — sieht. Daß diese Schlüsse um so unsicherer und der Kritik ausgesetzter werden, je weiter hinaus sie führen, liegt in der Natur der Sache. Es wäre indessen doch eine allzu billige Kritik, wenn man auf diese Unsicherheit hin einfach diese ganzen Untersuchungen von vornherein für unfruchtbar erklären und daraufhin so tun wollte, als ob sie überhaupt nicht existierten. Das ist wieder der bereits mehrfach abgelehnte Mißbrauch des Ignoramus.

Mit dem Angeführten sind die direkten Gründe für die Deszendenzlehre im wesentlichen erschöpft. Es kommen aber dazu noch eine ganze Reihe indirekter und allgemeiner Gründe.

Zu den indirekten (nicht den direkten, wie manche wollen) gehören in erster Linie die Ergebnisse der sog. „biologischen Reaktion" oder „Blutreaktion". Es war schon oben einige Male die Rede von der Tatsache, daß jede Art ihre eigene Art von Protoplasma (Artplasma) besitzt. Den experimentellen Beweis dafür zu führen ist auf dem üblichen chemischen Wege allerdings nicht gut möglich, da wir die Plasmasubstanzen bisher zu wenig kennen. Wir verdanken aber Uhlenhuth, Friedenthal u. a. Methoden, die nicht minder scharf wie irgend eine andere chemische Reaktion die einzelnen Plasmakörper zu erkennen gestatten, und übrigens deshalb auch in der gerichtlichen Medizin, zur Unterscheidung z. B. von Tier- und Menschenblut angewendet werden. Das Verfahren ist in Kürze etwa folgendes:

Man hatte schon früher bemerkt, daß, wenn man einem Tiere Blut von einer anderen Art einspritzt, dann mehr oder minder schwere Vergiftungserscheinungen auftreten, ähnlich denen, die nach dem Eindringen von Mikroorganismen (Krankheitserregern) sich einstellen. Wir wissen heute (s. o. S. 214), daß auch in letzterem Falle es gewisse von den Bazillen usw. ausgeschiedene Stoffe (Toxine) sind, die die betreffenden Vergiftungserscheinungen veranlassen. In allen diesen Fällen wehrt sich der Körper des angegriffenen Tieres durch die Erzeugung von sog. „Antikörpern" (Antitoxine, Präzipitine, Bakteriolysine, Agglutinine usw.), die in irgendeiner Weise die eingedrungenen Gifte bzw. die sie produzierenden Krankheitserreger selbst unschädlich machen. Da diese Antikörper meist im Überschuß erzeugt werden, so wird der Organismus dann gegen die weitere Schädigung derselben Art gewappnet, er erwirbt „Immunität". Diese „Antikörper" sind nun aus dem Blute der behandelten Tiere zwar bisher

nicht isolierbar, aber man kann sie wenigstens in einer klaren farblosen Lösung erhalten, wenn man das Blut, etwa durch Zentrifugieren, von den darin suspendierten roten Blutkörperchen befreit. Die so erhaltene farblose Flüssigkeit heißt bekanntlich Blutserum (daher auch z. B. Diphtherie-Heilserum). — Nun denke man sich etwa einen Versuch ausgeführt in folgender Weise: Einem Meerschweinchen wird eine gewisse Dosis Menschenblut eingespritzt, natürlich nicht so viel, daß es an dessen für das Meerschweinchen giftigen Eigenschaften stirbt. Es überwindet dann die Giftwirkung durch Produktion von Antikörpern in seinem eigenen Blut. Dies wird mehrmals wiederholt mit immer steigenden Dosen. Schließlich verträgt das Tier Injektionen von Mengen Menschenblut, mit denen zehn oder noch mehr nicht vorbehandelte Tiere tödlich vergiftet werden könnten. Nun wird sein Blut, das also reich an Antikörpern gegen das Menschenblutplasma ist, von den festen Bestandteilen befreit, und wir haben diese Antikörper in einem klaren Serum. Mischt man jetzt dieses Serum mit ebenso klarem Menschenblutserum, so tritt alsbald eine Trübung ein, es bildet sich ein Niederschlag. Diese Reaktion bleibt dagegen aus, wenn man das Meerschweinchenblut von nicht vorbehandelten Tieren gewinnt. Die Reaktion ist zu verstehen als eben die Wirkung, die die schützenden Antistoffe auch im Blute des lebenden Tieres gegen das artfremde (Menschen)-Plasma ausüben. Sie schlagen dieses in unlöslicher und damit unschädlicher Form nieder. In der gleichen Weise hat man mit einer großen Reihe von Tierarten experimentiert, immer aber gefunden, daß die Reaktion durchaus spezifisch ist, d. h. daß sie nur dasjenige (artfremde) Blut anzeigt, mit dem das betreffende Versuchstier vorbehandelt war (in unserem Beispiele also das Menschenblut).

Und doch ist die Reaktion nicht ganz streng spezifisch. Sie tritt anstatt mit dem Blutserum der Art, die zur Vorbehandlung gedient hatte, auch in geringerem Grade ein mit Blutserum solcher Arten, die dieser systematisch nahe verwandt sind. Ist beispielsweise das Meerschweinchen mit Hundeblut vorbehandelt, so tritt die Blutreaktion auch mit Wolfsblut, schwächer auch mit Fuchs-, Schakalblut ein, ja in dem Grade der Trübung kommt im allgemeinen deutlich der Grad der systematischen Verwandtschaft zum Ausdruck. So tritt die Reaktion statt mit Menschenblut auch fast in demselben Grade der Stärke mit dem Blut der großen menschenähnlichen Affen ein. — Von dieser nur allgemein gültigen Regel gibt es freilich Ausnahmen.

Soviel über das Tatsächliche. Und nun die Folgerungen? — Es ist zu spaßhaft und zugleich zu lehrreich, als daß man es nicht erwähnen sollte: Diese selben Tatsachen sind von den Fanatikern der Abstammungslehre ebenso als direkter Beweis „der Blutsverwandtschaft der Organismen" hingestellt, wie sie von Gegnern der Deszendenzlehre als „direkter experimenteller Beweis gegen die Abstammungslehre" ausgebeutet worden sind. Daß das erstere nicht richtig ist, bedarf eigentlich kaum einer näheren Begründung. Denn es ist klar, daß hier mit dem Worte „Blutsverwandtschaft" ein logisch unzulässiges Spiel getrieben wird. Im Rahmen der fraglichen Versuche kann darunter nur verstanden sein eine chemische Verwandtschaft, d. h. chemische Ähnlichkeit des Blutes der systematisch einander nahestehenden Arten. Wenn nun diese Tatsache vom Boden der Abstammungslehre aus auch ganz besonders gut begreiflich ist, so beweist sie direkt doch nicht mehr und nicht weniger als etwas, was wir längst wußten, daß nämlich die betreffenden Arten nicht nur in ihrer äußeren Gestalt, sondern mehr noch in ihren inneren Einrichtungen bis in die kleinsten Einzelheiten hinein sich ähnlich sind. Daß dies sich auch auf die chemische Beschaffenheit des Plasmas erstrecken würde, war zu erwarten. Bei dem Worte „Blutsverwandtschaft" aber, das für diese chemische Ähnlichkeit mit Vorliebe gebraucht wird, denkt der Leser oder Hörer unwillkürlich nur allzu leicht an den üblichen genealogischen Sinn dieses Wortes, und damit ist die Abstammungslehre natürlich vorweggenommen, aber leider nicht anders wie in dem bekannten Beweis, daß „Herodes vier Beine hatte, weil er ein Fuchs war und alle Füchse vier Beine haben". Das nennt man in der Logik: quaternio terminorum und auf deutsch: groben Unfug!

Nicht viel besser aber steht es auch mit der Logik derer, die aus dem Ergebnis der Blutreaktionen einen „experimentellen Beweis gegen die Deszendenzlehre" machen. Sie argumentieren etwa so[124]: Die Blutreaktionen haben erwiesen, daß jede Art ihr eigenes Artplasma hat. Könnten wir die chemische Formel desselben angeben, so wäre diese also sozusagen die Formel der betreffenden Art, die unabänderlich feststeht. Nun sind aber chemische Moleküle voneinander stets sprungweise verschieden; es gibt zwischen ihnen, z. B. zwischen Trauben- und Fruchtzucker keine kontinuierlichen Übergänge. Folglich, so schließt man, gibt es auch keine kontinuierlichen Übergänge zwischen Artplasma und Artplasma, ergo: tot sunt genera et species, quot ab initio plasmata creavit infinitum ens. Wie gänzlich verfehlt und trügerisch dieser Schluß ist, ist leicht einzusehen.

Denn erstens gibt es auch chemisch durchaus kontinuierliche Übergänge, nämlich bei prozentischen Zusammensetzungen von G e m i s c h e n — wissen die betreffenden Gegner der Deszendenzlehre so genau, daß es sich bei den Unterschieden des Artplasmas nicht um solche handelt? Zweitens aber, selbst wenn das nicht der Fall ist, wenn es sich also wirklich um Unterschiede von Molekülgattungen handelt, so ist es doch der reine Sophismus, wenn man aus der nur begrifflichen Diskontinuität von Molekülart und Molekülart eine reelle Unmöglichkeit der „Übergänge" herausdestillieren will. Läßt sich denn nicht eine Molekülart auf ungezählte verschiedene Weisen in eine andere umwandeln? Die ganze Chemie beschäftigt sich ja mit nichts anderem als mit solchen Umwandlungen einer oder mehrerer Arten von Molekülen in andere Arten, und da sollte sich nicht eine Art von Plasma in eine andere umwandeln können? Sogar die K o n t i n u i t ä t kann dabei, wenn nötig, durchaus gewahrt werden, indem man etwa annimmt, daß sich im Lauf der Generationen die Molekülart A in immer steigendem Prozentsatz in die Molekülart B umwandelt, so daß von 100 Prozent A und 0 Prozent B zu 0 Prozent A und 100 Prozent B eine ununterbrochene Stufenfolge führt. In Wahrheit schneiden sich diejenigen, meist zugleich streng vitalistischen Gegner der Abstammungslehre, die so argumentieren, recht bedenklich ins eigene Fleisch. Denn wäre ihre Theorie richtig, so brauchten wir ja nur Mittel und Wege zu finden, um eine gewisse chemische Umwandlung (die von A in B) zu bewirken, und wir hätten — eine Art in eine andere k ü n s t l i c h verwandelt. Kräftiger kann man den M e c h a n i s m u s wohl nicht gut formulieren! — In allem Ernste gesprochen aber: wir müssen in der Tat annehmen, daß das Blutplasma verwandter Arten auch chemisch nahe verwandt ist, das soll heißen, daß die Moleküle dabei im wesentlichen übereinstimmen und nur in untergeordneten Einzelheiten voneinander abweichen, und es erscheint deshalb wirklich gar nicht so aussichtslos, durch äußere Einwirkungen solche chemischen Veränderungen herbeizuführen, daß etwa ein Keim sich anders entwickelt wie im gewöhnlichen Falle. Ja, im Grunde genommen sind gewisse weiter unten anzuführende Versuche über direkte Beeinflussungen des Entwicklungsvorganges bereits als Anfänge der Forschung nach dieser Richtung hin anzusehen. Doch das nebenbei.

Es hat sich aus unserer Betrachtung also ergeben, daß die fraglichen Reaktionen weder ein d i r e k t e r Beweis für, noch einer gegen die Abstammungslehre sind. Das hebt aber nicht ihre Bedeutung für diese völlig

auf. Vielmehr müssen wir sie einmal doch als eine indirekte Bestätigung, eine vom Boden der Abstammungslehre aus ganz besonders leicht erklärliche Tatsache betrachten und zum anderen berücksichtigen, daß sie für den Deszendenztheoretiker nun ein außerordentlich wichtiges Hilfsmittel darstellen, die Verwandtschaften im einzelnen festzustellen, natürlich ein Mittel, das cum grano salis anzuwenden ist. Denn es ist ja keineswegs gesagt, daß nicht einmal zufällig auch ganz entfernt stehende Arten in der chemischen Beschaffenheit des Plasmas, also in der Blutreaktion, sich als ähnlich erweisen können oder auch andererseits, daß trotz naher Verwandtschaft doch eine geringe chemische Differenz nicht schon genügt, um die Reaktion zu verhindern. Die sonst aus der Chemie, speziell der organischen Chemie, bekannten Gruppenreaktionen bieten zu derartigen Anomalien genügend viele Gegenstücke dar. — Solange wir in diesem Gebiete nur rein experimentell vorgehen können, ohne eine auch nur annähernde Einsicht in die Natur und Konstitution aller dieser Stoffe, mit denen wir da arbeiten, ja ohne diese auch nur einmal erst allein für sich in der Hand gehabt zu haben (s. S. 210), so lange dürfen wir nicht erwarten, daß alles sich glatt in bestimmte Regeln fügt, sondern können froh sein, wenn überhaupt Regeln erkennbar sind. Das aber ist heute nicht wohl mehr zu bestreiten; das Weitere und Genauere muß der Zukunft überlassen bleiben.

Ein weiterer indirekter Beweis für die Deszendenzlehre ist die Aufklärung, die sie über die geographische Verbreitung der Pflanzen- und Tierwelt gibt. Sie erklärt da einleuchtend viele höchst auffällige, sonst ganz unbegreifliche Erscheinungen, so, um nur ein einziges Beispiel anzuführen, den Parallelismus zwischen so vielen Arten der alten und der neuen Welt. Es bleibt doch bei Annahme gesonderter Entstehung und absoluter Konstanz der Arten absolut unbegreiflich, warum Löwe und Puma, Kamel und Lama usw. sich so hübsch entsprechen, während die Deszendenzlehre das Rätsel sofort höchst einleuchtend erklärt durch die Annahme gemeinsamer Ahnen zu einer Zeit, als eine Verbindung zwischen beiden Teilen des Festlandes bestand. Die Deszendenzlehre ablehnen heißt wiederum einfach auf die nächstliegende Erklärung verzichten.

Lassen wir es an diesen indirekten Gründen, deren es noch eine ganze Anzahl gibt, genug sein und fragen uns schließlich noch, welche allgemeinen Gründe für oder wider die Deszendenzlehre beigebracht werden können. Und da muß man nun erst recht sagen: Es spricht jede vorurteilslose allgemeine Überlegung zugunsten der einzigen Lehre, welche überhaupt

imstande sein kann, uns das Werden der belebten Welt naturwissenschaftlich begreiflich zu machen. Da die gesamte biologische Forschung die unerschütterliche Gültigkeit des Gesetzes: Omne vivum ex vivo ergeben hat, und die Urzeugung also höchstens als Hypothese der ersten Entstehung einfachster Zellen noch in Betracht kommen kann, so bleibt in der Frage der Artentstehung tatsächlich nur die Wahl zwischen Deszendenz oder fortgesetzten Schöpfungsakten. Welcher Möglichkeit die Wissenschaft von vornherein zuneigt, kann nicht zweifelhaft sein. Andererseits aber überlege man nun doch einmal ohne jedes Vorurteil, welchen Vorteil etwa die Religion von dem Festhalten an der zweiten Annahme haben könnte. Ist es wirklich so besonders religiös, sich hier Gott als fortgesetzt neue Eingriffe in die Schöpfung ausübend vorzustellen. Besteht der Theismus etwa darin, daß Gott möglichst oft als Ursache eintreten muß, wo unsere Erkenntnis versagt, und hat deshalb der Verteidiger des Theismus nichts Besseres zu tun, als solcher „unerklärlichen" Geheimnisse möglichst viele aufzuspüren und urbi et orbi zu verkünden? Wir haben darüber schon oben das Notwendige gesagt, und wollen uns hier die Wiederholung ersparen. Nur die Bemerkung kann ich nicht unterdrücken, daß es mir doch als eine des christlichen Gottbegriffs recht wenig würdige Vorstellung erscheint, wenn man annimmt, er habe den oben erwähnten Walen, Schlangen, Kälbern usw. alle ihre rudimentären Organe und sich wieder zurückbildenden Embryonalanlagen gerade so anerschaffen, wie sie jetzt sind. Zu welchem Zweck denn? Etwa, um die Naturforscher unserer Tage mit unvermeidlicher Notwendigkeit in die Irre zu locken? Wofern also nicht etwa noch andere im engeren Sinne christlich-dogmatische Interessen der Annahme der Deszendenzlehre, insbesondere für den Menschen, entgegenstehen (s. u.), ist nicht einzusehen, weshalb man sich von dieser Seite so stark bis heute dagegen gewehrt hat. Für den Theismus im allgemeinen liegt nicht die geringste Veranlassung vor, Gott vorzuschreiben, auf welche Weise er die einzelnen Arten entstehen lassen mußte; das festzustellen kann er vielmehr, wie jede Frage betreffs irgendwelcher speziellen Dinge in der Welt, der Naturwissenschaft überlassen.

Unsere ganze bisherige Erörterung bezog sich lediglich auf die Frage der Deszendenz als solcher, also auf das „Daß" bzw. „Ob" der Abstammung, aber nicht auf das „Wie" und „Wodurch" derselben im einzelnen. Betrachten wir nun auch diese Fragen etwas genauer. In betreff des „Wie" können wir uns kurz fassen. Es ist vom allgemeinen, philosophischen Gesichts-

punkte aus relativ gleichgültig, wie wir uns die Abstammungsreihen im einzelnen zu konstruieren haben — mag die Wissenschaft zusehen, wie sie das mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit herausbringt. Vorläufig herrscht in dieser Hinsicht, sobald wir aus den engeren Kreisen der Familien und allenfalls noch Klassen herausgehen, noch ein recht großes Durcheinander und die Resultate der Embryologen einerseits, der Systematiker andererseits und der Paläontologen auf der dritten Seite widersprechen sich nicht selten schnurstracks. So herrscht beispielsweise noch heute keine völlige Einigkeit darüber, ob die Vögel von den Reptilien abstammen oder ob beide aus einer gemeinsamen Wurzel n e b e n einander sich entwickelten, wenn auch die erstere Hypothese meist bevorzugt wird. Doch lassen wir das auf sich beruhen, ebenso wie auch die Frage, ob die gesamte Organismenwelt aus einer oder mehreren Wurzeln entsprossen sei (mono- oder polyphyletische Hypothese). Vorläufig läßt sich darüber doch nichts auch nur einigermaßen Sicheres ausmachen (Anm. 122). Ignoramus, sed non ignorabimus. Die wichtigste Frage der ganzen Deszendenztheorie aber ist die zweite Frage, die wir nun genauer zu betrachten haben:

Die Frage nach den treibenden Kräften der Artenbildung.

Über das „Daß“ der Abstammung sind sich, wie schon oben gesagt, heute alle Forscher (mit kaum einer Ausnahme, s. o.) einig. Geht es aber an die Frage nach den U r s a c h e n der Artumwandlung, so gehen alsbald die Meinungen völlig auseinander. Nur die gänzliche Vernachlässigung dieser wie aller tieferen biologischen Fragen im Unterrichtsplan unserer höheren Schulen erklärt die betrübende Tatsache, daß noch heute die weitaus größte Zahl aller gebildeten Laien sich nicht im mindesten klar ist über die großen Unterschiede zwischen der Frage der Deszendenz überhaupt und der Frage nach ihren treibenden Faktoren, sondern daß für sie Deszendenzlehre noch immer völlig gleichbedeutend mit Darwinismus, d. i. einer ganz bestimmten Antwort auf unser jetzt vorliegendes besonderes Deszendenzproblem ist. Noch schlimmer ist natürlich die ebenfalls noch überall verbreitete Definition, die Deszendenzlehre „oder“ der Darwinismus sei die Lehre, daß der Mensch vom Affen abstamme. Als ob es nur Affen und Menschen in der Welt des Lebens gäbe — ganz abgesehen von dem Umstand, daß heute kaum ein Deszendenztheoretiker mehr die genannte Behauptung vertreten würde (s. u.).

Es ist unerläßlich, daß wir zunächst mit einem kurzen geschichtlichen Überblick beginnen. Die Begründung der Abstammungslehre[125] geschah um die Wende des 18. und 19. Jahrhunderts durch eine Reihe verschiedener Forscher, von denen hauptsächlich Geoffroy St. Hilaire, Oken, Treviranus, E. Darwin (Großvater von Charles Darwin) und Lamarck zu nennen sind. Ob auch Goethe, den die Entwicklungsfanatiker so gern für sich in Anspruch nehmen, dazu zu zählen ist, ist fraglich, da es nicht ganz sicher feststeht, ob er die „Entwicklung" der einzelnen Arten aus dem „Urtypus" als eine rein logische oder als eine wirkliche genealogische gedacht hat. Den ersten Versuch einer umfassenden Begründung der Abstammungslehre machte Lamarck in seiner Philosophie zoologique (1809). Er suchte hier vor allem Rechenschaft darüber zu geben, auf welche Weise, durch welche Mittel die Natur diesen Umwandlungsvorgang bewirkt habe. Lamarcks Erklärung geht aus von der Beobachtung, daß Gebrauch der Organe dieselben stärkt, Nichtgebrauch sie schwächt. Man denke z. B. an die kräftigen Armmuskeln der Turner und Athleten, dagegen die schlaffe Muskulatur verwöhnter Faulenzer u. a. m. Auf Grund solcher Beobachtungen denkt sich nun Lamarck etwa die Entstehung des langen Halses der Giraffe folgendermaßen: In einer Zeit, als in den betr. Teilen Afrikas große Dürre herrschte, reckten die Stammeltern der heutigen Giraffen ihre Hälse möglichst lang aus, um an das oben sitzende Laub der Bäume zu kommen. Diejenigen, die es in dieser Kunst am weitesten brachten, hatten unter sonst gleichen Bedingungen die größte Wahrscheinlichkeit zu überleben und Nachkommen zu erzeugen. Diesen aber wurde nun schon ein kleiner Teil der durch diese Übung erworbenen Halsstreckung vererbt, und indem sich der Vorgang weiter in der gleichen Weise fortsetzte, steigerte sich so die Länge immer mehr, bis sie schließlich den heutigen abnormen Wert erreichte. — Mit einer solchen Veränderung sind nun aber, wie Lamarck gleichfalls betonte, stets mehrere andere notwendig verknüpft (Koadaptation), bei der Giraffe z. B. Änderungen im Bau des Rumpfes und der Vorderbeine, die dann in der gleichen Weise herangezüchtet werden.

Das Werk Lamarcks machte zwar bei seinem Erscheinen großes Aufsehen, geriet aber merkwürdigerweise bald fast wieder in Vergessenheit. Schuld daran war in erster Linie die überragende Autorität Cuviers, dessen „Katastrophentheorie" siegreich das Feld behauptete. Erst volle 50 Jahre später war die Zeit dazu reif, den großen Gedanken der Abstammungslehre in seiner vollen Bedeutung zu erfassen, der sich nun

mit einem Schlage in der ganzen gebildeten Welt durchzusetzen begann. Es ist das Lebenswerk von Charles Darwin, dem dieser durchschlagende Erfolg beschieden war. Sein Hauptwerk „Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl" erschien 1859. Der Grundgedanke desselben ist das Prinzip von der Auslese des Passendsten durch den „Kampf ums Dasein", kurz das „Selektionsprinzip" genannt. Um das an dem Giraffenbeispiel Lamarcks zu erläutern, so hat man nach Darwin nicht von der direkten Anpassung der Individuen, sondern davon auszugehen, daß unter den Jungen derselben Eltern stets Tiere mit etwas längeren und solche mit etwas kürzeren Hälsen sein werden, da sich in keiner Eigenschaft die Nachkommen jemals alle vollständig gleichen. Unter diesen haben nun die langhalsigen die größere Wahrscheinlichkeit des Überlebens, und so wird schon in der nächsten Generation eine kleine Verschiebung der durchschnittlichen Halslänge nach oben hin stattgefunden haben, die sich dann durch Vererbung erhält und durch weitere Auslese immer mehr steigert. Das Beobachtungsmaterial, auf das sich Darwin stützte, ist außerordentlich reichhaltig, und eben darauf beruht zum größten Teil sein Erfolg. Die „individuellen Variationen" sind eine unbestrittene Tatsache, ebenso unbestritten ist, daß bei der ungeheuren Überproduktion an Nachkommen, die fast im ganzen Pflanzen- und Tierreich statt hat, nur ein winziger Bruchteil derselben am Leben bleiben und zur Fortpflaznung kommen kann, da sonst binnen kurzem die Nachkommen einer einzigen Art die ganze Erde angefüllt haben müßten. Es muß also eine massenhafte Vernichtung durch Schädigungen aller Art stattfinden und der Gedanke, daß dabei die den Umständen am besten angepaßten Individuen im Durchschnitt am besten wegkommen, ist nicht von der Hand zu weisen. Der Begriff des „Kampfes ums Dasein" ist dabei auch so weit als möglich zu fassen. Er kann auch bei durchaus friedlichen Tieren und den Pflanzen schon darin gegeben sein, daß die einen den andern Licht, Luft, Wohnung, Nahrung wegnehmen. Außer diesen beiden Grundtatsachen führte nun Darwin eine große Zahl besonderer Beobachtungen an, vor allem die Erfahrungen der Tier- und Pflanzenzüchter, welche ebenfalls durch ein Ausleseverfahren die gewünschten Erfolge erzielen, dazu eine Unmenge einzelner Anpassungserscheinungen, pflanzen- und tiergeographische Tatsachen u. a. m., worauf wir hier nicht einzeln eingehen können. Fast gleichzeitig mit Darwin und unabhängig von diesem kam übrigens auch ein anderer englischer Naturforscher, Wallace, auf das Selektionsprinzip.

Die fabelhafte Schnelligkeit, mit der der „Darwinismus“ — und das bedeutete bei der damaligen Lage der Dinge zugleich die Abstammungslehre überhaupt — sich durchsetzte, ist nur zu verstehen, wenn man die gesamte geistige Lage jener Zeit, den Zusammenbruch der spekulativen Naturphilosophie und das Durchdringen des reinen Empirismus in der Naturwissenschaft, das damit verbundene Wiederaufleben materialistischer Tendenzen, die gleichzeitig überall einsetzende Industrialisierung bei den europäischen Kulturvölkern und das damit verbundene Auftauchen der „sozialen Frage“ usf. berücksichtigt. Es war alles in allem eine neue Weltanschauung, welche da im Werden begriffen erschien, eine Weltanschauung der reinen Diesseitigkeit, der abgesagten Feindschaft gegen alles spekulative Philosophieren, gegen allen Glauben an transzendente Gründe oder Zwecke dieses Weltlaufs, des entschlossenen „Kampfes ums Dasein“ auch im wirtschaftlichen Leben. — Freunde wie Gegner dieser Weltanschauung erkannten die Bedeutung, die dem Darwinschen Prinzip zukam, welches das Entstehen des Zweckmäßigen auf mechanischem Wege durch blindes Spiel des Zufalls und automatische Notwendigkeit zu erklären unternahm. So war denn in kurzer Zeit der Kampf in einer Schärfe im Gange, wie sie die Geistesgeschichte der Menschheit nur an wenigen Stellen aufweist, und seine Nachwirkungen gehen bis heute noch weiter. Es war kein Wunder, daß die Kirche beider Konfessionen aufs schärfste gegen die neue Lehre Stellung nahm, war diese doch von Anfang an, sicherlich sehr gegen Darwins Absichten, mit Jubel von allen Gegnern der kirchlichen Lehren aufgegriffen. Andererseits hatte dieser Widerstand der Kirchen gegen etwas, was doch nun einmal eine mehr oder minder ernst zu nehmende wissenschaftliche Lehre war, eine rapide Zunahme der „Kirchenflucht der Gebildeten“ im Gefolge, während gleichzeitig die Arbeitermassen in Darwins Lehren die wissenschaftlich unangreifbare Grundlage für die Lehren ihrer Propheten Marx und Lassalle (den „ökonomischen Materialismus“) zu sehen sich gewöhnten. Es ist bekannt, welche hervorragende Rolle bei dieser ganzen Entwicklung Popularphilosophen und Naturforscher wie L. Büchner, Vogt, Moleschott, und vor allem Ernst Häckel gespielt haben. Die wenigen aus dem naturwissenschaftlichen Lager, welche sich gegen den allgemeinen Strom stemmten (Wigand, Nägeli u. a.), wurden überhört oder achselzuckend bei Seite geschoben. Abstammungslehre und Darwinismus verschmolz für das allgemeine Bewußtsein in eins, aus Darwins zunächst doch rein als naturwissenschaftliche Hypothese gemeinter Lehre aber wurde über Nacht ein Allerwelts-

prinzip, welches nicht nur die Artenbildung erklären, sondern schließlich fast den gesamten Weltlauf beherrschen sollte[126]. Insbesondere galt es bald für ausgemacht, daß auch die gesamte menschliche Kultur eine „Entwicklung unter Auslese des Passendsten" sei. Kunst, Sittlichkeit, ja last not least die Wissenschaft selbst erschienen als Produkte solcher Auslese im Kampf ums Dasein. Der von Amerika bei uns importierte „Pragmatismus" ist die letzte Auswirkung dieser Ideen in die Erkenntnistheorie hinein. (Das „Fürwahrhalten" ist nach ihm ebenfalls eine biologische Reaktion; wir halten etwas für wahr, wenn und weil dies Verhalten für uns, bzw. die Art zweckmäßig ist.) Wir kommen auf diese allgemein philosophischen Folgerungen unten zurück, bleiben aber jetzt einstweilen im rein naturwissenschaftlichen Gebiet.

Schüchtern nur und langsam wagte sich die Kritik an dies scheinbar so feststehende Gebäude heran. Wir müssen es uns versagen, dies weiter geschichtlich zu verfolgen, wollen vielmehr den vorliegenden Fragen nunmehr in rein sachlicher Ordnung nachgehen und werden dabei gleichzeitig die anderen heute vorliegenden Lösungsversuche des Abstammungsproblems kennen lernen. Die bestechende scheinbare Einfachheit des „Darwinismus" ist heute längst einer ungeheueren Mannigfaltigkeit gewichen. Zahllose Forschungen, vor allem der experimentellen Biologie, aber auch der reinen Morphologie, Embryologie, Ökologie u. a. Teilgebiete wollen heute dabei berücksichtigt werden. Es ist ein überaus törichtes und nicht zu billigendes Verfahren, wenn noch heute in populären Werken die Sache so dargestellt wird, als ob mit Darwins Selektionsprinzip im letzten Grunde alles Wesentliche abgemacht sei. Ohne eingehende Kenntnis moderner Vererbungsforschung vor allen Dingen ist an eine wirkliche Einsicht in den Stand des Problems gar nicht zu denken. Wir besprechen zunächst das Problem der

Variabilität und ihrer Vererbung

wobei wir uns natürlich auf das Wichtigste beschränken müssen[127]. Darwins Lehre nimmt als Material, unter dem die Selektion ihre Wirksamkeit entfaltet, in der Hauptsache zunächst die sog. individuellen Variationen an. Es hat sich nun durch die eifrige Forscherarbeit der letzten Jahrzehnte herausgestellt, daß dieser Begriff selbst durchaus nicht eindeutig ist, vielmehr eine ganze Reihe verschiedener, auf gänzlich verschiedene Ursachen zurückzuführender Erscheinungen umfaßt.

Zunächst ist festzustellen, daß ein großer Teil der individuellen Unterschiede der Nachkommen sich gemäß dem früher über den Mendelismus Gesagten (S. 26) als Aufspaltung oder Neukombination von mendelnden Erbeigenschaften erklärt. Wir sahen dort, daß so auch ganz neue Arten durch vorher nicht dagewesene Kombinationen der Erbeinheiten oder „Gene", wie man jetzt meist sagt, entstehen können. Derartige Unterschiede sind selbstverständlich in derselben Weise weiter vererbbar. — Zum anderen haben die mühsamen Forschungen von J o r d a n, J o h a n n s e n u. a. das grundlegend wichtige Ergebnis zu Tage gefördert, daß die von uns anstandslos zu einer „Art" zusammengefaßten Bestände von Pflanzen und Tieren, wie wir sie in der Natur etwa in einem Bohnenfelde oder einer Schafherde vor uns haben, lediglich einen Sammelbegriff vorstellen, daß aber in Wahrheit jede solche „Population" aus einer ganzen Anzahl „elementarer Arten" und diese ev. noch wieder aus sog. „reinen Linien", dazu gegebenenfalls allen möglichen Bastardformen gemischt ist. Da wegen der letzteren die Verhältnisse bei fast allen Tieren und auch den meisten Pflanzen fast unübersehbar verwickelt liegen, so sind diese Feststellungen vorzugsweise an solchen Pflanzen gemacht, welche als reine Selbstbestäuber keine Veranlassung zu Bastardierungen geben.

Um Johannsens Versuchsergebnisse, die auch für die praktische Züchtung von hervorragender Bedeutung sind, zu verstehen, müssen wir zunächst den Begriff der sog. f l u k t u i e r e n d e n V a r i a t i o n erörtern. Vergleicht man die Nachkommenschaft, die etwa aus einer einzelnen Bohne nach einer oder mehreren Generationen (bei strenger Inzucht) entsteht, etwa in Hinsicht auf die Länge oder das Gewicht der Samenkörner, indem man diese in Klassen einteilt, etwa von je 1 mm zu 1 mm Längenunterschied, so findet man z. B. folgende Zahlen[120]: Von im ganzen 450 Bohnensamen hatten eine Länge von:

8	9	10	11	12	13	14	15	16	mm Länge
1	2	23	108	167	106	33	7	1	Exemplare.

(10 mm bedeutet hierbei: zwischen 9,5 und 10,5 usw.) Man sieht unmittelbar, daß also die m i t t l e r e Länge 12 mm weitaus am häufigsten, die größeren oder kleineren aber, die P l u s - und M i n u s v a r i a n t e n um so seltener sind, je weiter die betr. Länge sich von dem Durchschnitt entfernt. Derartige Zahlenreihen erhält man nun auch durch reines Zufallsspiel nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung z. B. in dem in Abb. 47 dargestellten Apparat, wenn man in diesen von oben durch den Trichter

Kugeln hineinrollen läßt, die dann an jedem einzelnen der in den Weg gestellten Nägel entweder links oder rechts ausweichen können. Die Zahlen der unten in den Fächern sich dabei ansammelnden Kugeln entsprechen demselben Gesetz, das zuerst Quetelet (1871) an Messungen über Variationen von menschlichen Merkmalen auffand und das sich leicht in einer mathematischen Regel (Binomialgesetz) angeben und aus der Wahrscheinlichkeitslehre begründen läßt.

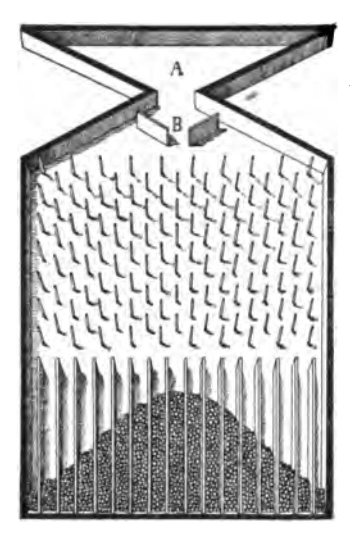


Abb. 47. Galtons Zufallsapparat (aus Hertwig).

Diese fluktuierenden Variationen sind in erster Linie auf die ungleichen Ernährungsverhältnisse der einzelnen Individuen zurückzuführen. Sie sind aber in keinem Falle erblich, denn die Nachkommen, die aus Minusvarianten gezüchtet werden, liefern ebenso wie die aus den Mittelvarianten oder den Plusvarianten stets wieder genau dieselbe Verteilungskurve (gleiche Ernährungsbedingungen vorausgesetzt), dies gilt selbst für die extremsten Varianten an beiden Enden der Reihe und läßt sich auch durch Generationen hindurch fortgesetzte Selektion nicht ändern, wie Johannsen in langjährigen Kulturen zeigte. Durch reichlichere oder knappere Ernährung des ganzen Bestandes verschiebt sich natürlich die ganze Verteilungskurve nach Seite der Plus- oder Minusvariation, an den Erblichkeitsverhältnissen wird aber dadurch nichts geändert. Eine solche Reihe nun nennt Johannsen eine „reine Linie", und er konnte zeigen, daß eine gewöhnliche „Bohnenpopulation" aus einer großen Zahl solcher reinen Linien, die untereinander gemischt sind, besteht, so daß wir in den „individuellen Variationen", die wir daran wahrnehmen, tatsächlich zweierlei ganz verschiedene sich durchkreuzende Erscheinungen haben. Eine bestimmte Samenlänge kann dann nämlich ebensowohl eine Minusvariante der einen „reinen Linie" als eine Plusvariante einer anderen, als das Mittel einer dritten sein und umgekehrt der Unterschied in der Länge zweier Samen kann ebensowohl darauf zurück-

zuführen sein, daß sie fluktuierende Varianten derselben Linie sind, wie darauf, daß sie verschiedenen Linien angehören. Kommt nun bei den nicht selbstbestäubenden Pflanzen und bei Tieren noch die Wirkung der zahllosen Bastardierungen der „reinen Linien" untereinander hinzu, so sieht man, wie außerordentlich verwickelt die Verhältnisse werden, die bei Darwin unterschiedslos in dem Begriff der individuellen Variation enthalten sind.

Es kommt ein weiterer Punkt hinzu. Schon Darwin bemerkte, daß neben jenen anscheinend regellosen, d. h. nach allen möglichen Richtungen liegenden Variationen, deren Erblichkeit er annahm, aber nicht beweisen konnte, auch vereinzelte besonders große und einseitige Variationen (single variations) vorkommen und führt zwei derartige verbürgte Fälle an, die im Jahre 1791 und 1828 beobachtet wurden, nämlich die Geburt je eines Widderlamms mit ganz abnormen Beinen bzw. Haaren, deren Eigenschaften konstant auf die in großer Zahl gezüchteten Nachkommen übergingen und die so Anlaß zur Entstehung ganz neuer Rassen wurden. In der Pflanzenzucht sind solche Fälle noch häufiger beobachtet; so entstand z. B. die erste, gefüllte Petunie nachweislich im Jahre 1855 in einem Garten in Paris und wurde die Stammform aller späteren Exemplare. Solche plötzlich auftretenden und sogleich konstant vererbbaren Variationen, wohin auch manche erbliche Monstrositäten zu rechnen sind, heißen heute nach de Vries Mutationen. Letzterer beobachtete nun aber, daß solche Mutationen auch bei wildlebenden Pflanzen vorkommen. Das berühmte erste von ihm gefundene derartige Beispiel ist die Pflanze Oenothera Lamarckiana, eine Nachtkerzenart. Aus der ursprünglichen Form, die er in einem wilden Bestande in der Nähe von Amsterdam vorfand, entstanden ohne erkennbare Ursachen eine ganze Anzahl wohl charakterisierter, erbbeständiger „Mutanten" (im ganzen bisher 12), die de Vries sowohl rein weiter züchten, als zu Kreuzungsversuchen benutzen konnte (Abb. 48). In der Folgezeit sind noch viele ähnliche Fälle bekannt geworden und wenn auch in manchem von ihnen der Verdacht nicht von der Hand zu weisen ist[129], daß es sich in Wahrheit um Mendelspaltungen handelt, die Ausgangsformen also nicht erbrein gewesen sein könnten, so sind doch auch genug Fälle dabei, wo eine solche Erklärung so gut wie ausgeschlossen ist. de Vries hat hierauf seine Mutationstheorie als Ersatz des Darwinismus begründet. Die Selektion bewirkt nach ihm nur das Überleben der passendsten Mutanten, während die fluktuierenden Variationen für die Artenbildung aus-

scheiden. Die Ursachen des Auftretens solcher Mutationen sind bisher nicht aufgeklärt. Der Umstand, daß sie bei Kulturpflanzen und Haustieren viel öfter vorzukommen scheinen als bei wildlebenden, sowie auch manche anderen Gründe experimenteller Art sprechen dafür, daß reichliche Ernährung das Auftreten derselben, wenn nicht veranlaßt, dann wenigstens

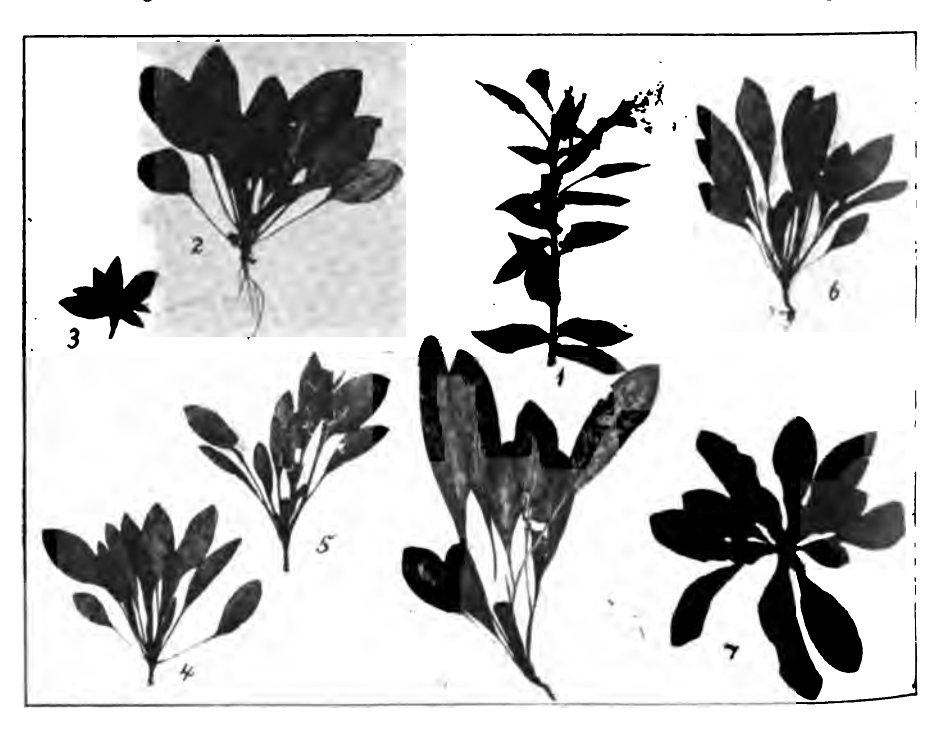


Abb. 48. Mutationen der Nachtkerze Oenothera Lamarckiana nach de Vries. *1.* Stammform. *2.* Oe. gigas. *3.* nanella. *4.* scintillans. *5.* oblonga. *6.* rubrinervis. *7.* lata.

begünstigt. Besonders bemerkenswert sind die Untersuchungen Towers über den Koloradokäfer. Durch Veränderung der Außenweltsbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit usw.) während dieser oder jener Entwicklungsperiode des Tieres konnte Tower nach Belieben erbliche Mutationen oder nicht erbliche Variationen (Modifikationen) erzeugen (Abb. 49).

Wir kommen damit zu einer neuen Tatsachengruppe, der direkten Abänderung der Organismen durch äußere Einflüsse, wohin im weiteren Sinne auch die von Lamarck in den Vordergrund gestellten „funk-

tionellen Anpassungen" zu rechnen sind. Doch ist es auch hier durchaus nötig, zu unterscheiden, wenn man zur Klarheit gelangen will. Wir haben zunächst eine große Reihe von Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur, Feuchtigkeit, Belichtung, Ernährung u. dgl. auf die Entwicklungsvorgänge. Besonders manche Insektenklassen, vor allem die Schmetter-

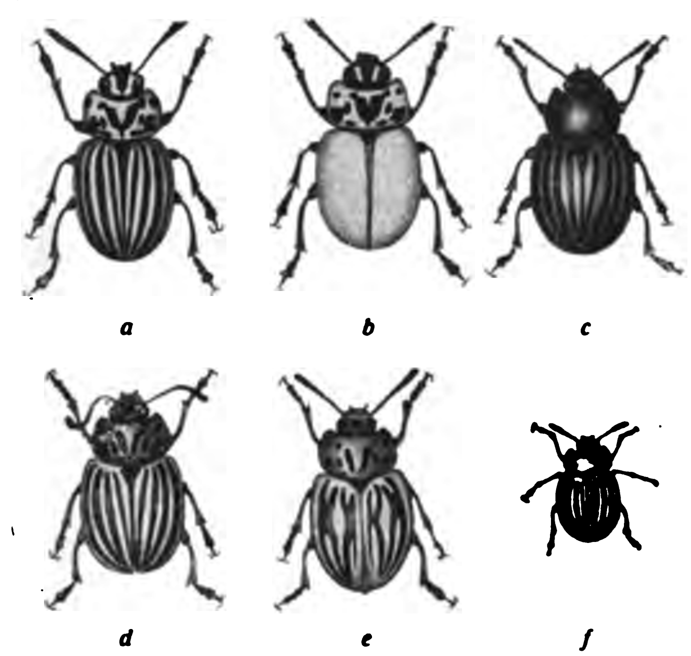


Abb. 49. Mutationen des Koloradokäfers Leptinotarsa.
a **L. undecim lineata.** ***b*** **Mutant von** ***a.*** ***c*** **Mutant von L. multitaeniata.** ***d*** **L. decemlineata.** ***e, f*** **Mutanten von** ***d.*** **(Nach Tower aus Goldschmidt, Vererbungswissenschaft.)**

linge, bieten dafür ein überaus dankbares Untersuchungsfeld. Es stellt sich dabei heraus, daß solche Beeinflussungen in der Regel nur in besonderen Zeiten, den sog. s e n s i b l e n P e r i o d e n , möglich sind (so auch bei Klebs' oben erwähnten Dachwurzversuchen). Bei Schmetterlingen ist besonders der Puppenzustand dafür geeignet. Durch abnorme Temperaturen kann man dabei leicht so starke Abänderungen erzielen, daß die auskriechenden Tiere unbedingt zu einer anderen Art gerechnet werden würden, wenn man ihre Entstehung nicht kennte (Abb. 50). Als solche Wärme- bzw. Kälteaberrationen sind auch viele Fälle von sog. „Saisonpolymorphismus" aufzufassen, wofür der bekannte in zwei ganz verschiedenen Formen im Frühling

und im Spätsommer auftretende Netzfalter (Vanessa prorsa-levana) das gebräuchliche Beispiel ist (vgl. Abb. 51). Andere Fälle derselben Art sind auf die verschiedenen Ernährungsbedingungen u. a. zurückführbar. Eben dahin gehören wohl auch manche „Standortsmodifikationen" von Pflanzen, sowie parallele Erscheinungen der Tierwelt. Hier ist jedoch schwerlich alles auf direkte Bewirkung zurückzuführen. — Machen solche Erscheinungen den Eindruck, als ob hier die betr. Außenweltsfaktoren ganz unmittelbar chemische Veränderungen der lebenden Substanz bewirken, die sich in der abgeänderten Entwicklungsrichtung äußern, so haben wir daneben auch Veränderungen, welche der schon fertige Organismus durch solche Einflüsse erleidet, wenn dieselben auch meist nicht sehr weitgehend sind. Es ist bekannt, daß das Chamäleon seine Farbe einigermaßen der Umgebung entsprechend ändern kann. Ähnlich, aber langsamer wirkt die Umgebung auch auf manche andere Tiere, vor allem Reptilien und Amphibien (s. u. Kammerers Versuche). Auf welche Weise diese Änderungen zustande kommen, ist keineswegs genügend aufgeklärt. Doch ist es wahrscheinlich, daß mindestens ein Teil derselben durch nervöse Übertragung vermittelt wird, woran sich die weitere Frage knüpft, wieviel davon mit psychischen Erscheinungen (Willen, Gefühl) verknüpft ist. Der neuere sog. „Psycholamarckismus" (Pauly) der sich hier als Folgerung aus dem Psychovitalismus (S. 290) ergibt, glaubt hier wie bei den sogleich zu besprechenden Erscheinungen nicht ohne die Wirksamkeit zwecksetzender Mächte seelischer Natur auskommen zu können. Es gehören nämlich nun hierhin auch die „funktionellen Anpassungen", von denen schon vorher

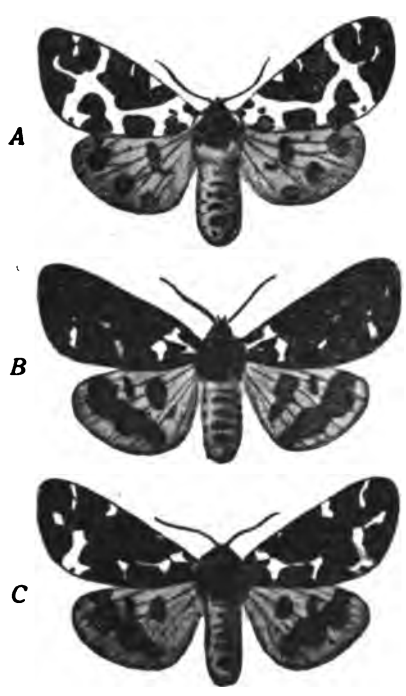


Abb. 50. Temperaturaberration des braunen Bärs (Arctia caja). *A* Normalform. *B* Puppe bei —8° gehalten. *C* Nachkommen von *B* unter gewöhnlichen Bedingungen gezogen. (Aus Hertwig, Werden der Organismen.)

die Rede war. Wenn beispielsweise die eine Niere durch einen operative Eingriff entfernt wird, so vergrößert sich in ziemlich kurzer Zeit die andere sehr stark, und zweifelsohne hängt das mit ihrer gesteigerten Beanspruchung zusammen. Aus solchen und ähnlichen Fällen (auch der früher erwähnte Bau der Knochen gehört hierhin) leitet die psycholamarckistische Schule die Ansicht her, daß dem Organismus die Fähigkeit innewohnt, sich die Organe

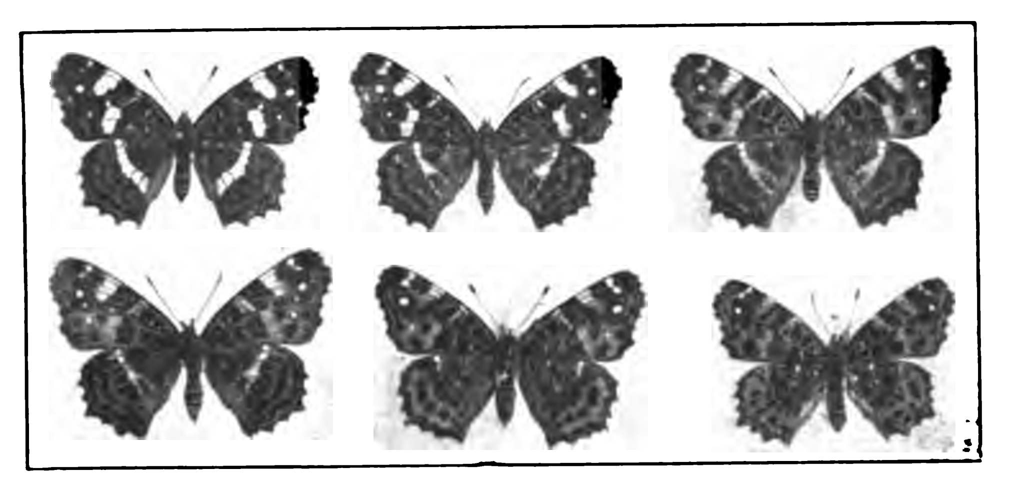


Abb. 51. Netzfalter (Vanessa prorsa-levana). Die Frühlingsform (links oben) ist mit der Sommerform (rechts unten) durch eine Reihe künstlich erzeugter Übergänge verbunden (aus Goldschmidt, Vererbungswissenschaft).

zur Befriedigung seiner Bedürfnisse selbst zu schaffen, also zu sog. „aktiver Anpassung". Es erfolgt also keine solche Veränderung, ohne daß ein gefühltes Bedürfnis und ein Trieb ihm abzuhelfen vorliegt; die passende Reaktion findet der Organismus dann durch „Probieren und Behalten". Das „Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organischen Materie" (Hering-Semon) spielt also eine wesentliche Rolle dabei, auch die Vererbung kann als über das Individuum hinausreichendes Gedächtnis aufgefaßt werden. Ja sogar die „Hypothese eines überindividuellen Seelischen" ist zur Erklärung der merkwürdigen Fälle „fremddienlicher Zweckmäßigkeit" herbeigezogen worden, wie solche z. B. in den Pflanzengallen vorzuliegen scheint (E. Becher[130]). Dies scheint mir allerdings bedenklich, obwohl ich gern zugebe, daß manche der von Becher angeführten Fälle ein außerordentlich schwieriges Problem aufgeben und keineswegs es für berechtigt halte, hier von „Scheinproblemen" zu sprechen. Aber es erscheint mir doch

wenig angebracht, auf derartige ausgesuchte Einzelerscheinungen eine so weittragende, anderswo doch recht gut entbehrliche Hypothese zu gründen, abgesehen von den allgemeinen Bedenken, welche gegen den von dieser Hypothese wie von dem ganzen Psychovitalismus vorausgesetzten „influxus physicus" sprechen.

Man sieht jedenfalls, welch eine Fülle verschiedener Gesichtspunkte auch in dem einzigen Stichwort „direkte Anpassung" enthalten ist. Das Hauptproblem, das dabei immer wieder auftaucht, haben wir nun aber noch gar nicht erwähnt. Das ist die Frage, ob die hier kurz und keineswegs vollständig skizzierten direkten Anpassungen auch erblich übertragbar sind, das sog. Problem der Vererbung erworbener Eigenschaften. Die Geschichte dieses Problems zeigt so recht deutlich, wie in der Abstammungslehre erst ganz allmählich dogmatische Voraussetzungen als solche erkannt und kritischer Prüfung unterworfen worden sind. Weder Lamarck noch Darwin sind von solchem Dogmatismus freizusprechen. Ersterer hat sich gar nicht weiter um die Frage gekümmert, ob die von ihm betonten funktionellen Anpassungen auch wirklich auf die Nachkommen, sei es auch nur in geringerem Grade, vererbt werden, letzterer hat ebenso selbstverständlich es durch die Erfahrungen der Züchter als sichergestellt betrachtet, daß die individuellen Variationen vererbbar seien, weil sonst ja keine Steigerung derselben durch Zuchtwahl möglich sei. Wir haben es hier zunächst nur mit dem Lamarckismus zu tun, dessen Prinzipien übrigens auch Darwin keineswegs ganz abgelehnt hat. Erst A. Weismann, der Begründer des „Neudarwinismus" (s. u.), hat ernstlich die Frage der Vererbung erworbener Eigenschaften aufgeworfen und ein großes Material zusammengebracht, das die Annahme einer solchen Vererbung widerlegen sollte. Er hat damit vor allem bei den Mendelforschern und den in Johannsens Bahnen wandelnden Forschern viel Zustimmung gefunden. In der Tat hält es außerordentlich schwer, sich eine Vorstellung davon zu machen, wie denn Eigenschaften, welche der Organismus im Laufe seines Lebens erwirbt, auf die Keimzellen übertragen werden sollten, die ja längst vorher schon, als „Keimbahn" von den Körperzellen, dem „Soma" nach Weismanns Ausdruck, völlig getrennt sind, und die doch zudem alle die fraglichen Organanlagen usw. in ganz anderer Gestalt enthalten, als sie später im entwickelten Wesen zutage treten. Wie sollte beispielsweise ein durch Übung verstärkter Armmuskel oder eine wie oben vergrößerte Niere es anfangen, die Keimzellen so zu beeinflussen, daß in der

nächsten Generation schon diese Organe ein kleines Plus gegenüber dem Durchschnitt aufweisen?

Allein R. Hertwig hat Recht, wenn er allen solchen theoretischen Folgerungen gegenüber betont[131]: Über die Frage, ob erworbene Eigenschaften erblich sind oder nicht, kann nur das Experiment entscheiden. Solche Experimente sind nun auch in neuerer Zeit sehr zahlreich angestellt worden. Sie haben ergeben, daß allerdings im Laufe des Individuallebens erworbene äußere Eigenschaften, wie Verletzungen, oder geistige Fähigkeiten und Übungen, wie Klavierspielen u. dgl. nicht vererbt werden. Trotzdem muß aber das Gesamtergebnis bei aller Vorsicht doch wohl als ein, wenn auch bedingtes „Ja" bezeichnet werden. Ich will ein paar der wichtigsten Beispiele anführen. Von Towers künstlichen Käfermutationen war schon die Rede. Ebenso zeigen nach Standfuß Kälteaberrationen von Schmetterlingen sich in der nächsten Generation auch dann, wenn diese unter normalen Bedingungen gezüchtet wird. Am berühmtesten sind die Versuche von Kammerer geworden, die freilich neuerdings angezweifelt wurden. Nach Kammerer nimmt der gelb gefleckte Feuersalamander, auf gelber oder weißer Erde gehalten, stark an Gelb zu, während auf dunkler Erde das Farbenkleid ebenfalls allmählich dunkler wird. Die Nachkommen so umgezüchteter Weibchen zeigten die gleiche Aberration auch dann, wenn sie in die normalen oder sogar die entgegengesetzten Bedingungen verbracht wurden (Abb. 52). Ferner gelang es Kammerer die Fortpflanzungsweise des Feuersalamanders erblich zu ändern. Der gewöhnliche, an feuchten Stellen lebende Salamander

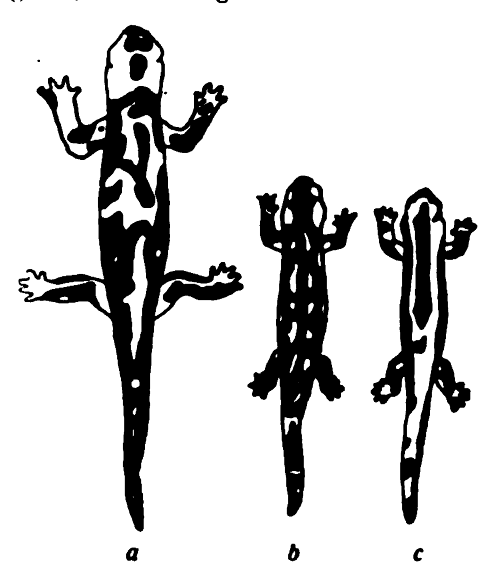


Abb. 52. Kammerers Salamander.
a Muttertier auf gelbem Grund gehalten.
b Nachkomme auf schwarzem Grund gehalten.
c Nachkomme auf gelbem Grund gehalten.
(Aus Handwörterbuch der Naturw. X, 257.)

(S. maculosa) setzt eine ziemlich erhebliche Zahl noch nicht voll ausgebildeter kiemenatmender Larven ins Wasser ab, wo sie sich zu der definitiven Form entwickeln. Abweichend davon gebiert die in trockeneren, höher gelegenen Orten vorkommende Varietät, der Alpensalamander (S. atra) nur zwei voll entwickelte Tiere, die sogleich durch Lungen atmen. Durch Umtauschung der Lebensbedingungen gelang es nun Kammerer, die beiden Arten so zu beeinflussen, daß jede die Fortpflanzungsweise der anderen annahm, und auch diese Veränderung erwies sich als erblich übertragbar, trotz Wiederherstellung normaler Verhältnisse. Einen ähnlichen Versuch machte Kammerer mit der Geburtshelferkröte[132].

In allen diesen Fällen handelt es sich nun freilich um Vererbung von Abänderungen, welche vielleicht oder wahrscheinlich durch Wirkung der betr. Umweltfaktoren nicht nur auf den Körper, sondern gleichzeitig auch auf die Keimzellen zustande kommen. Man nennt diese Annahme die Hypothese der Parallelinduktion und stellt ihr die Hypothese der somatischen Induktion gegenüber, d. i. die Annahme, daß Veränderungen, welche zunächst nur Körperzellen betreffen, doch von da aus auf die Keimzellen übertragen werden, wie das Lamarck ganz naiv annahm? Es fragt sich nun, ob es neben jenen auf Parallelinduktion zurückführbaren Fällen nicht doch auch verbürgte Fälle von somatischer Induktion gibt. Hierfür kommt zunächst ein merkwürdiges Experiment von Schröder in Betracht. Die Raupen des Schmetterlings Gracillaria stigmatella rollen die Blattspitzen von Weidenblättern in eigentümlicher Weise zusammen, um sich darin zu verbergen. Schneidet man die Blattspitzen aber weg, so behelfen sie sich in anderer Weise und setzt man diesen Zwang einige Generationen hindurch fort, so tut die nächste Generation das von vornherein (auch ohne daß man die Spitzen wegschneidet), was die vorigen erlernt haben. Hier ist eine Parallelinduktion anscheinend ausgeschlossen, denn eine solche Instinktänderung wird doch zunächst jedenfalls hervorgerufen durch eine Reizgruppe, die nur auf das Zentralnervensystem wirkt, außerdem haben die Raupen auch noch gar keine entwickelten Geschlechtsorgane, wogegen freilich Weismann auf die doch wahrscheinlich schon vorhandene „Keimbahn" hinweisen würde. — Ein zweiter Weg, die somatische Induktion festzustellen, ergibt sich durch Versuche über Verpflanzungen der Geschlechtsdrüsen. Man hat Eierstöcke weiß oder schwarz gefärbter Tiere (Hühner, Meerschweinchen) in Tiere der entgegengesetzten Farbe, denen die eigenen vorher entfernt waren, übertragen. Lei-

der waren eindeutige Resultate bisher nicht zu erzielen, sondern sie widersprechen sich schnurstracks. Die neuesten derartigen Untersuchungen an Schwammspinnern ergaben wieder negatives Resultat. — Ein drittes allgemeines Argument für die Annahme der somatischen Induktion bildet die erbliche Veranlagung solcher Merkmale, welche wie z. B. Schwielen (Verhornungen), Kauhöcker u. dgl. kaum anders als durch Gebrauch entstanden aufgefaßt werden können, trotzdem aber schon vor dem Gebrauch, sogar schon beim Embryo angelegt werden[133]. Die Gegner der somatischen Induktion müssen auch hier, wo wir unter unseren Augen täglich die „direkte Bewirkung" ähnlicher Merkmale beobachten können, diese bloß deshalb, weil sie erblich sind, durch Selektion entstanden sein lassen oder mindestens annehmen, daß die Selektion nur solche Mutanten gezüchtet habe, die die „Fähigkeit zur Bildung" solcher Schwielen usw. als erbliches Merkmal besaßen. Denkt man diesen Gedanken konsequent zu Ende, so ergibt sich die Absurdität, daß tatsächlich für alle und jede besondere Reaktion, die ein Organismus auf die Reize der Umgebung ausführen kann, eine entsprechende „Fähigkeit" als besonderes „genotypisches" Merkmal gefordert werden muß, während es doch evident ist, daß nur eine endliche Anzahl solcher „Anlagen" in Wechselwirkung mit den unendlich mannigfaltigen Reizen der Umwelt das unendlich vielseitige Verhalten der Organismen bedingt.

Es kommt endlich ein letzter allgemeiner Grund hinzu, um die somatische Induktion als nicht allzu bedenklich gegenüber der Parallelinduktion erscheinen zu lassen. Auch bei letzterer nämlich bleibt es einstweilen ganz unbegreiflich, wie die fraglichen Außenweltsfaktoren, z. B. Kälte oder Licht, es fertig bringen, die Keimzellen gerade so zu beeinflussen, daß die dadurch bewirkte spätere somatische Veränderung der nächsten Generation gerade dieselbe wird, wie die parallel zur Keimzellenbeeinflussung erfolgende somatische Veränderung des Muttertieres. So dürfte alles in allem O. Hertwig[134] Recht haben, wenn er sich gegen eine solche Trennung überhaupt wehrt und vielmehr den Standpunkt vertritt, daß es sich eben in jedem Fall um eine Wirkung auf den ganzen Organismus (Soma + Keimzellen) handelt, und man wird daher wohl sagen dürfen, daß das ganze Problem nur ein Teil des großen Problems der „Entwicklungsmechanik" überhaupt ist: Wie stecken die „Anlagen" im Keimplasma, wie kommt ihre Entfaltung im Entwicklungsprozeß zustande und wie können sie verändert werden?

Für die Abstammungslehre liegt jedoch die Sache so, daß es hier ziemlich gleichgültig ist,[1] auf welche Weise derartige „erbliche Veränderungen"

zustande kommen, wenn nur überhaupt feststeht, daß Eigenschaften, welche das Individuum unter veränderten Bedingungen erwirbt, sich bei Fortdauer derselben Bedingungen ebenfalls bei den Nachkommen finden. — Ob nun deshalb, weil das Soma die Keimzellen induziert oder weil diese direkt mit beeinflußt sind, das ist ganz einerlei. Das aber ist sicher gestellt, und in diesem Sinne darf der Lamarckismus wohl als ein bleibendes Bestandstück der Abstammungslehre gewertet werden.

Damit soll nun aber keineswegs

die Selektion

zur Bedeutungslosigkeit verurteilt sein. Wir müssen, um ein nach allen Seiten so viel als möglich gerechtes Urteil zu bekommen, nun auch auf diese noch etwas näher eingehen. Der Fehler des „Darwinismus" war, daß er ein an sich richtiges Prinzip zum alleinigen Erklärungsprinzip aller Erscheinungen machen wollte. Die Lehre von der „Allmacht der Naturzüchtung" ist besonders durch A. Weismann vertreten worden. Neben ihm ist die Haeckelsche Schule als Hauptverfechterin des Darwinismus zu nennen. Da Weismann sich indessen der Schwierigkeiten, in die der ältere Darwinismus durch die moderne Erblichkeitsforschung geriet, voll bewußt war, so baute er sozusagen diesem eine vollständig neue Theorie, die Lehre von der sog. Germinalselektion, als neues Fundament unter[135]. Weismann versteht unter diesem Worte einen Kampf ums Dasein und eine darin erfolgende natürliche Auslese zwischen den einzelnen „Determinanten", in den Keimzellen, d. i. den Erbeinheiten, die nach seiner schon oben (S. 263) erwähnten Theorie als wirkliche räumliche Teilchen, als selbständige kleine Lebenseinheiten in der Keimzelle, und zwar in den Chromosomen, enthalten sind. Diese streiten sich um die zuströmende Nahrung genau so, wie im großen in der Natur die Individuen, und jede aus irgendeinem Grunde schwächer entwickelte „Minusvariante" kommt dadurch in Nachteil gegen die anderen. Das bedingt dann eine schwächere Entwicklung des durch diese Determinante bestimmten Organs. Ebenso umgekehrt bei den Plusvarianten. Da sich nun durch die Vererbung diese Eigenschaften auf die nächste Generation übertragen, so muß jede einmal in Nachteil geratene Determinantenart schließlich im Wettbewerb um die Nahrung immer schwächer werden, also endlich ganz verschwinden, sobald die Personal-

selektion (d. i. die Auslese der Individuen) nicht mehr dafür sorgt. daß die Träger dieser ungünstigeren Erbanlagenmischung verschwinden. Umgekehrt muß eine einmal eingetretene Plusvariation sich ebenfalls automatisch steigern, solange bis entweder die dadurch bedingte Vergrößerung des betr. Organs oder die zugleich damit verbundene Schädigung der anderen Determinanten und die infolge davon eintretende Verkümmerung der anderen Organe dem Individuum schädlich wird, so daß die Träger solcher Erbanlagen wiederum durch Personalselektion ausgemerzt werden. — Was Weismann durch diese selbstredend rein hypothetische Annahme erreichen will, ist vor allem zunächst eine Erklärung für die dem älteren Darwinismus fast unerklärliche Tatsache des Schwindens der funktionsunfähigen Organe. Durch den doppelten „Kampf ums Dasein" wird bewirkt, daß jede einmal eingeschlagene Variationstendenz sich automatisch weiter durchsetzen muß, wenn nicht die Personalselektion sie ausmerzt. So gleicht der Organismus mit seinen Erbanlagen nicht einer trägen Masse, die durch die äußeren Ursachen erst in Bewegung gesetzt werden müßte, sondern sein Gleichgewicht ist ein dynamisches, jeden Augenblick bereit sich zu ändern und auf seiner Bahn nur erhalten durch die fortwährende Kontrolle seitens der Personalselektion, ähnlich etwa wie ein Fahrrad nur durch fortgesetzte Regulierung mit der Lenkstange im Gleichgewicht zu erhalten ist. Hier wird nun also tatsächlich „der Kampf der Vater aller Dinge" und man hat Recht, von der „Allmacht" der Selektion zu sprechen. — Auf die zahlreichen Einwände, die gegen diese Weismannsche Fassung der Selektionstheorie erhoben worden sind, hier einzeln einzugehen, ist nicht möglich[136]. Die wichtigsten sind der rein hypothetische Charakter der vorausgesetzten Determinanten und ihrer Germinalselektion, sowie das schon oben mehrfach erwähnte Bedenken, daß es bei solcher Lehre notwendig wird, sämtliche Eigenschaften und Fähigkeiten in gesonderten Teilen des Keimes zu lokalisieren (vgl. S. 246 u. S. 264). Im ganzen hat die Weismannsche Lehre sich deshalb nicht durchsetzen können, selbst ausgesprochene Neudarwinisten wie Plate haben erklärt, lieber die ganze Selektionslehre aufzugeben, als sie auf die Germinalselektion gründen zu wollen.

Ehe wir nun den Selektionsgedanken im ganzen einer kritischen Würdigung zu unterziehen versuchen, müssen wir noch einige Tatsachengruppen nennen, die dabei mit berücksichtigt zu werden verdienen. Zunächst ist da der Geschlechtsdimorphismus zu erwähnen, die Tatsache, daß die Träger der männlichen und weiblichen Keimzellen im Tierreich fast

durchweg wesentliche Unterschiede in Größe, Form, Farbe usw. aufweisen, vielfach so starke, daß man Männchen und Weibchen, ehe man ihre Zusammengehörigkeit erkannte, als ganz verschiedene Arten beschrieben hat[137]. Sehr vielfach, vor allem bei den niederen Tieren, wo solche Extreme oft beobachtet werden, handelt es sich zweifelsohne nur darum, daß Männchen und Weibchen sich gesondert für ihre Aufgaben (Vollziehung der Befruchtung, Eireifung) auf eigenen Wegen spezialisiert haben und die allgemeinen Gründe, die überhaupt das Entstehen der zahllosen Anpassungen ermöglicht haben, werden auch für das Verständnis dieser Erscheinungen als ausreichend betrachtet werden müssen, wenn wir sie auch einstweilen nicht völlig durchschauen und hier die besondere Frage noch hinzukommt, wie die Eigenschaften des einen Geschlechts auch durch die Keimzellen der Angehörigen des anderen vererbt werden können[138]. Neben derartigen Geschlechtscharakteren gibt es nun aber noch eine ganze Anzahl solcher, die durch eine Anpassung an allgemeine Lebensbedingungen nicht erklärt werden können und zwar sind es in der Regel die Männchen, denen diese besonderen Eigenschaften zufallen. Es handelt sich um die sog. Anlockungsmittel (Schmuckfarben, ungewöhnliche Körperfortsätze, wie z. B. Geweihe oder Zangen, Gesang der Vögel, Spiel- und Tanzinstinkt u. a. m.). Für die Entstehung derartiger Dinge nahm Darwin die geschlechtliche Zuchtwahl, die Auswahl seitens der Weibchen, als Ursache in Anspruch, die hier dieselbe Rolle spielen sollte, wie im allgemeinen der Kampf ums Dasein.

Eine zweite, ebenso bedeutsame Erscheinung bildet eine besondere Gruppe von Anpassungen, die unter dem Stichwort „Mimikry“ (Nachahmung) zusammengefaßt und zuerst von Bates eingehend untersucht wurde. Im weiteren Sinne sind dahin alle „Schutzfärbungen“, wie z. B. die graubraune Farbe der Hasen und Feldlerchen, die gelbliche der Löwen, die weiße der Polartiere oder unseres Wiesels im Winterkleide u. a. zu rechnen, auch gewisse Instinkte, z. B. das Sichtotstellen mancher Tiere u. a. können mit dazu gezählt werden. Im engeren Sinne heißt Mimikry die Nachahmung ganz bestimmter Naturdinge, wie z. B. Blätter, Stengel, Steine u. dgl., im engsten Sinne die Nachahmung anderer Tiere durch gewisse Arten in einer solchen Vollkommenheit, daß selbst das Auge des geübten Beobachters dadurch meist vollkommen getäuscht werden kann. Da solche Beispiele, wie der indische Blattschmetterling, die Birkenspannerraupe, die Blatt- und Stabheuschrecken, der Hornissenfalter u. a. heute wohl allgemein bekannt



Abb. 53. Links oben Danais limniace Cr. (gemieden), links unten Papilio clyti La. var. dissimilis L. (Nachahmer), rechts oben Euploea core Cr. (gemieden), rechts unten Papilio clytia L. var. panope L. (Nachahmer) (nach Hauri).



Abb. 54. Links oben Danais chrysippus L. (gemieden), links unten Hypolimnas misippus L. var. ♀ diocippus Cr. (Nachahmer), rechts oben Danais dorippus Klug. (gemieden), rechts unten Hypolimnas misippus L. var. ♀ inaria Cr. (Nachahmer).

sind, erübrigt sich eine Beschreibung, die doch ohne bildliche Darstellungen wenig Zweck hat (vgl. Abb. 53). Am verblüffendsten wirken Fälle wie der in Abb. 54 und 55 dargestellte, oder der von Papilio Merope, einer südafrikanischen Schmetterlingsart[139], eines Verwandten des Schwalbenschwanzes. Die Weibchen derselben — nur diese, nicht die Männchen — kommen außer in der normalen Form in drei verschiedenen anderen, äußerlich in der Färbung wie Form der Flügel völlig abweichenden Gestalten vor, die jedesmal aufs Haar je einer anderen Schmetterlingsart aus völlig anderen Familien gleichen, welche wegen ihres üblen Geschmacks von Vögeln nicht gefressen wird. Die abweichenden Formen leben hier wie fast immer nur da, wo auch die „immune" Art fliegt, und pflegen sich direkt unter diesen ihren Vorbildern aufzuhalten, so daß Bates, der derartige Fälle zuerst in Südamerika feststellte, nur durch reinen Zufall darauf aufmerksam wurde. — Diese Erscheinungen sind von den Anhängern der Selektionstheorie als ganz besonders beweiskräftig für die Wirkung der natürlichen Zuchtwahl in Anspruch genommen worden. In neuerer Zeit hat sich auch gegen sie eine heftige kritische Opposition erhoben, auf die wir sogleich zurückkommen.



Abb. 55. Hypolimnas misippus L. ♂

Wir kommen nunmehr zur Kritik der Selektionstheorie[140]. Was kann sie leisten und was nicht? Als ausgemacht kann heute zunächst gelten, daß die „fluktuierende Variation" durch Selektion nicht in einer bestimmten Richtung gesteigert werden kann (vgl. S. 325). Die von Darwin als Hauptstütze seiner Theorie herangezogenen Erfahrungen der Züchter erklären sich so, daß die Zuchtwahl hier nicht auf die fluktuierenden Varianten, sondern auf das Gemisch der in der fraglichen „Population" vorhandenen „reinen Linien" oder „elementaren Arten" wirkt, aus denen die Linnésche „Art" sich in Wahrheit zusammensetzt. Auch wenn die (fluktuierende) Variationsbreite der einen Linie über die der anderen hinübergreift (s. S. 325), so muß doch eine Selektion (etwa immer der größten

Bohnen) in den folgenden Generationen die relative Anzahl der Vertreter der „größten" Linie immer weiter vermehren, so daß man in bestimmten Fällen schließlich diese Linie rein übrig behält. Damit hat man dann zwar eine konstante neue Art „gezüchtet", d. h. in Wahrheit aber, man hat sie nur aus dem Gemisch, der Population, isoliert, in dem sie schon vorher war. Daß der alte Darwinismus nach dieser Richtung hin einer Korrektur bedarf, ist zweifellos. Es ist indes ein großer Irrtum, wenn manche Gegner der Selektionslehre schon damit glauben, diese überhaupt widerlegt zu haben. Die Sache stellt sich vielmehr bis soweit lediglich als eine etwas genauere Präzisierung der Voraussetzungen Darwins heraus. Für das Wesentliche, die Selektion, ist es an sich gleichgültig, ob dieselbe auf den unbestimmten Begriff Darwins von der individuellen Variation oder auf den präziseren der „elementaren Arten" oder „reinen Linien" angewandt wird. „Selektionswertige Varianten" sind dann eben jene im gewöhnlichen Sinne erblich konstanten, aber doch offenbar nicht absolut unveränderlichen elementaren Arten. Denn daß nun die 200 elementaren Arten des Hungerblümchens (Jordan), oder die 19 reinen Bohnenlinien (Johannsen) von Anfang an so erschaffen worden seien, hat meines Wissens auch der wütendste Gegner des Selektionsprinzips bisher nicht behauptet. Sie können vielmehr und müssen als „Mutanten" im Sinne von de Vries aufgefaßt werden, und die Selektion richtet sich also nunmehr grundsätzlich nur noch auf solche d. h. auf erblich übertragbare, jedoch durch irgendwelche Ursachen sprungweise abänderungsfähige Eigenschaften. Somit wäre trotz allem die Mutationstheorie zunächst nur als verbesserter Darwinismus zu bezeichnen. Es ist deshalb auch durchaus ungerecht, wenn, wie das z. B. in dem Buche von Buekers[141] geschieht, dem Darwinismus ohne weiteres auch alle diejenigen Fälle zur Last gelegt werden, wo man sich vordem hinsichtlich des Bestehens einer Anpassung überhaupt geirrt hatte. So haben z. B. die scheinbar auf die Bestäubung durch Insekten abzielenden Einrichtungen der Erbsenblüte heute jedenfalls keinen Zweck, da die Erbse ein Selbstbestäuber ist. Daß der ältere Darwinismus hier im Irrtum war, ist aber nicht Schuld der Selektionstheorie. Hätte vielmehr de Vries damals schon seine „Mutationstheorie" aufs Tapet gebracht, so hätte er ebensowenig diese „Anpassung" bezweifelt, wie er heute noch tausend andere bezweifelt, sondern hätte sie als durch Mutationen entstanden und durch Selektion erhalten aufgefaßt. Richtig bleibt nur, daß der

Nichts-als-Darwinismus allerdings sich die Wege zu unbefangener Nachprüfung aller einzelnen Fälle durch das Dogma von der Allmacht der Naturzüchtung stark verbaut hatte.

Anders wird jedoch die Sache, wenn wir nun die Frage nach den Gründen der Entstehung jener Mutationen hinzunehmen. Hier scheiden sich die Wege der reinen Selektionstheoretiker und die der Lamarckisten (in neuerer Auffassung). Die Regellosigkeit der individuellen Variationen bei Darwin könnte nunmehr ersetzt werden durch eine Regellosigkeit der Mutationen. Dieselben entstünden aus irgendwelchen Gründen, wie beispielsweise bei Towers Koloradokäfern durch abnorme Kälte, bei de Vries' Oenothera vielleicht durch besondere Ernährungsbedingungen, und zwischen den so vorhandenen Mutanten wählte nun die Selektion aus. Das ist dann immer noch eine „Zufallstheorie", was zu sein eine der hauptsächlichsten dem Darwinismus vorgeworfenen oder auch nachgerühmten Eigenschaften ist. Hiergegen protestiert nun aber der Neulamarckismus, indem er durchaus daran festhält, daß die Abänderung nicht regellos ist, sondern von vornherein in einer erkennbaren Beziehung zu dem vorhandenen Bedürfnis steht. Er verlangt mit anderen Worten die bestimmt gerichtete Variation. Angesichts der Kammererschen Salamanderversuche u. ä. wird man sich schwerlich des Eindrucks erwehren können, daß diese Auffassung zum mindesten zu einem Teil ihr Recht hat. Nun kommt aber noch eine dritte Möglichkeit hinzu. Wir haben bisher geschwiegen von einer weiteren Gruppe von Theorien, als deren Hauptvertreter K. E. von Baer, Nägeli und Eimer (wenn auch im einzelnen mit manchen Abweichungen) anzusehen sind. Man faßt diese heute meist unter dem Stichwort „orthogenetische Theorien" zusammen. Der Ausdruck ist von Eimer geprägt und besagt, daß die Variationen, besser jetzt: Mutationen, überhaupt nicht durch äußere Einflüsse, auch nicht durch das „Bedürfnis", sondern durch in den Keimzellen selbst latente Ursachen veranlaßt werden, die durch äußere Bedingungen höchstens zu ihrer Zeit „ausgelöst" werden.

Es gibt manche Erfahrungstatsachen, die auch für diese Theorie ein Recht auf Anerkennung zu fordern scheinen. Das sind zunächst die sog. Exzessivbildungen, wie solche schon oben mehrfach erwähnt wurden. Schon z. B. beim Hirschgeweih befriedigt der Erklärungsversuch aus der geschlechtlichen Zuchtwahl recht wenig, erst recht aber beim Herkuleskäfer oder dergleichen. Ganz ausgeschlossen erscheint aber diese Erklärung ebenso

wie auch die aus der gewöhnlichen Zuchtwahl bei anderen Bildungen, die geradezu als zwecklose Monstrositäten zu bezeichnen sind, wie z. B. die langen Fortsätze mancher Muschelgehäuse u. a. Solche Bildungen, die viel häufiger sind, als man meist annimmt, machen durchaus den Eindruck, als ob irgend ein in den Organismen liegendes Abänderungsprinzip sozusagen zu Tode geritten wird, weshalb denn auch vielfach solche Arten im Aussterben begriffen oder ausgestorben sind, weil derartige Bildungen doch schließlich allzu unzweckmäßig werden. Hier kommt also trotz aller „natürlichen Zuchtwahl" die Entwicklung aus der Sackgasse, in die sie sich verlaufen hat, nicht mehr heraus. Ja, im Grunde genommen beweist schon die ganze Paläontologie mit ihren unzähligen ausgestorbenen Arten, daß eben nicht nur die die Anpassung fördernde Macht der Selektion, sondern mindestens neben ihr auch eine sie hemmende Beharrung des Entwicklungsvorgangs tätig ist, und beide in einem fortdauernden Kampf stehen (die lamarckistische direkte Anpassung käme außerdem noch hinzu). Weitere starke Gründe für die Wirksamkeit solcher „orthogenetischer Faktoren" liegen in neueren genauen Feststellungen über die tatsächlich vorkommenden (natürlichen oder künstlichen) Variationen. Es hat sich dabei herausgestellt, daß diese keineswegs „regellos" in allen möglichen Richtungen erfolgen, sondern stets nur in einzelnen wenigen ganz bestimmten (Eimer, Tower, R. Hertwig). Ferner ist hier das „Dollosche Gesetz" zu erwähnen, welches besagt, daß einmal rudimentär gewordene oder ganz geschwundene Organe niemals wiederkehren, sondern bei Wiederkehr des Bedürfnisses durch andere neue Organe ersetzt werden. Bei alleiniger Wirksamkeit der Zuchtwahl wäre kein Grund einzusehen, warum eine Entwicklung nicht auch einmal bei Umkehrung der Bedingungen rückwärts gehen sollte. Dies ist bisher niemals beobachtet worden.

Schwieriger ist die Frage, worin diese orthogenetischen Tendenzen näher begründet zu denken wären. Eine mögliche Lösung ergibt Weismanns Hypothese der Germinalselektion (s. o.), nach der eine einmal eingetretene Plus- oder Minusvariation einer „Determinante" sich automatisch steigern muß, bis die Personalselektion dem ein Ziel setzt. Man kann den wesentlichen Grundgedanken, den diese Hypothese für unser Problem liefert, aber vielleicht auch festhalten, ohne Weismanns Biophoren und Determinanten deshalb anzunehmen. Wir können dann die Annahme so formulieren: Die „Vererbungsgrundlage" bildet ein System von einer

solchen „labilen" Beschaffenheit, daß es einer einmal eingetretenen Veränderungsrichtung weiter folgt, solange bis ein neuer Gleichgewichtszustand (mit den ev. veränderten Außenweltsbedingungen) erreicht ist oder die Art zum Aussterben gezwungen wird. Eine solche Hypothese liegt durchaus im Bereich des naturwissenschaftlich Diskutierbaren. Für bedenklich halte ich dagegen die auf Seiten mancher Vertreter der „Orthogenese" beliebten teleologisierenden „Erklärungen". Man stellt z. B. die Stammesentwicklung in Hinsicht auf die „Zielstrebigkeit" (K. E. von Baer) in direkte Parallele zur Einzelentwicklung. Aber das sind zwei ganz verschiedene Dinge. Denn bei letzterer ist die Zielstrebigkeit eben durch die Vererbung garantiert. Das Zustandekommen dieser soll aber ja die Stammesentwicklung gerade erst ergeben. Wenn man hier nicht echte „Epigenese", sondern „Evolution" annehmen will, so kommt man zu der absurden Folgerung, daß schon in den ersten einfachsten Zellen im Grunde Mensch und Löwe, Hering und Ameise dringesteckt hätten. Natürlich haben sie „potentiell" dringesteckt, aber doch nicht anders, als im Klavier die Beethovensche Sonate oder im Marmorblock die Statue steckt. Das leugnen heißt auf kausale Erklärung überhaupt verzichten. Andere teleologische „Erklärungen" sind neuerdings vielfach im Zusammenhang mit dem Psychovitalismus und -Lamarckismus ausgesprochen worden. Man hat auch hier die unbewußt wirkende „Entelechie", wenn nicht gar den Schöpferwillen herangezogen oder von einem „Vervollkommnungstrieb" (Nägeli) gesprochen usf. Mit solchen mystischen „Dingen" kann die kausale Naturwissenschaft meines Erachtens nichts anfangen. Nur wer sich streng davor hütet, sie in die kausale Erklärung hineinzumengen, darf beanspruchen, neben dieser letzteren, der teleologischen Deutung ihr uneingeschränktes Recht zu wahren (s. S. 274). Es fällt mir natürlich nicht ein, die „Vervollkommnung" zu leugnen oder sie auch nur für bloße menschliche Betrachtungsweise zu erklären. Im Gegenteil, das oben von der „objektiven Realität der Beziehungen" Dargelegte gilt natürlich auch hier und erst recht. Nicht wir sind es, die den Vervollkommnungsbegriff in die Betrachtung der Phylogenie hineintragen, sondern die Natur selbst zwingt ihn uns auf. Aber das ist keine „Erklärung" der Phylogenie, sondern ein neuer Gesichtspunkt, sie zu betrachten.

Unsere Kritik der Selektionslehre würde allzu unvollständig sein, wenn nicht schließlich noch zwei ihr sehr oft entgegengehaltene Einwände be-

sonders angeführt würden, das ist 1. der mangelnde Selektionswert der kleinen Abänderung und 2. die sog. Panmixie (allgemeine Vermischung). Eine kleine Veränderung, sagt man, z. B. in der Flügelfarbe eines Schmetterlings kann diesem gar nichts nützen, selbst wenn sie sich in der Richtung auf eine Mimikry hin bewegt. Denn der Vogel, der die immune Art nicht frißt, wird auf jene kleine Änderung gar keine Rücksicht nehmen, sondern den Besitzer genau so fressen wie alle seine ungeschützten Artgenossen. Damit hier ein Schutz wirksam werden könnte, müßte gleich von vornherein schon eine sehr weitgehende Ähnlichkeit da sein, die unmöglich als Resultat einer einzigen Mutation angesehen werden kann. Selbst dann aber, wenn eine solche denkbar wäre, würde sie nichts nützen, weil sie durch die allgemeine Bastardierung in kurzer Zeit völlig wieder verwischt wäre. — Es ist zuzugeben, daß das erste Argument in dem angezogenen Falle sehr viel Bestechendes hat. Daß es aber keineswegs allgemein gelten kann, lehrt ein Fall, wie z. B. die Bildung einer Schwimmhaut. Hier muß tatsächlich auch eine geringfügige Variation schon einen kleinen Vorteil bewirken und dann könnte die Selektion das übrige besorgen, wenn — das zweite Argument sich ebenfalls widerlegen läßt. Gegen die unbeschränkte Panmixie läßt sich nun in der Tat dreierlei einwenden. Erstens nämlich kann man annehmen, daß die einander gleichen Mutanten sich im allgemeinen etwas leichter untereinander, als mit den abweichenden Stammformen befruchten werden, das läßt sich auch statistisch vielfach nachweisen[142]. Die Unfruchtbarkeit, die ja meist schon bei Bastardierung unter den Linnéschen „Arten" eintritt, kann als extremer Fall einer kontinuierlich immer stärker werdenden Erschwerung der Bastardbildung aufgefaßt werden. Zum anderen ist es nicht nur denkbar, sondern wahrscheinlich, daß günstige Mutanten auch räumlich vielfach irgendwie von der Stammform isoliert werden. Bei Tieren kann man direkt ein gegenseitiges Sichzusammenfinden annehmen, aber auch ohne das können passiv durch Wind, Wasser, Vögel usw. etwa mutierte Samen verschleppt werden und so zur Bildung zunächst eines Lokalbestandes Anlaß geben. M. Wagner hat sogar auf dieser Grundlage eine ganze „Migrationstheorie" der Abstammung entwickelt, von der zweifelsohne ebenfalls sehr vieles zutrifft. Drittens aber kann man auf Grund des Mendelismus geradezu umgekehrt behaupten, daß eine einzige günstige Mutante große Aussicht hat, sich schließlich durchzusetzen, da die betr. Eigenschaft ja bei ihren Nachkommen immer wieder auftritt.

Zum Schluß noch ein Wort über die Mimikry. Kaum ein anderes Problem der Deszendenztheorie ist heute noch so viel umstritten, wie dieses und gerade bei diesem suchen die einen alles Heil in der Selektionslehre, während die anderen sie völlig verwerfen. Sicher ist zunächst, daß ein sehr großer Teil der früher unbedingt als Mimikry angesprochenen Fälle dringend zunächst einmal der Nachprüfung schon daraufhin bedarf, ob die fraglichen Ähnlichkeiten wirklich den angegebenen Schutz gewähren. Wenn es beispielsweise wahr wäre, daß die in der Natur vorkommenden Feinde des Hasen denselben gar nicht durch das Gesicht, sondern durch den Geruch wahrnehmen[142], oder wenn die Spinnen die Bienen und Wespen eben nicht fürchteten, sondern genau so gut bewältigten, wie sie die sie nachahmenden Fliegen bewältigen können, oder wenn die Spinnen ebenfalls nicht durch das Gesicht, sondern durch den Geruch oder sonst einen Sinn dabei geleitet würden, so ist es offenbar, daß die Nachahmung von Form und Farbe von vornherein gar keinen Zweck hätte. Aber erstens erfordert eine derartige Kritik, wenn sie wirklich „vernichtend“ sein soll, daß man nicht einen, sondern alle Feinde der betr. Art in Betracht sieht. Denn es könnten immerhin, selbst wenn die Spinnen wegfielen, die Vögel Grund genug zu jenem Versteckenspielen geben oder beim Hasen ausgesprochene „Augentiere“ wie Katzen, Luchse, Adler, Habichte, Eulen u. dgl. Zweitens widersprechen sich aber nicht selten auch die einzelnen Beobachter schnurstracks in Hinsicht auf die wirkliche Immunität der nachgeahmten Arten, der eine behauptet sie ebenso fest, wie der andere sie verneint. — Alles in allem dürfte doch wohl das Bestehen wirklicher Mimikry in vielen Fällen nicht zu leugnen sein. Beispiele wie der Blattschmetterling Callima und das wandelnde Blatt oder die oben angeführten Schmetterlinge wirken doch allzu überzeugend und können nicht auf Zufall zurückgeführt werden. Eine besondere Beziehung zwischen Schützling und Schützendem besteht hier zweifellos. Es fragt sich dann allerdings, wie sie sich erklärt. Nun können sicher manche Fälle einfacher „Schutzfärbung“ sehr gut durch die Hypothese des „Aufsuchens“ oder „Probierens und Behaltens“ erklärt werden. Vielleicht legt sich der Hase deshalb in die Feldfurchen, weil er im Lauf der Stammesentwicklung „gelernt hat“, daß ihn da seine Feinde am wenigsten bemerken. Es spricht sogar sehr vieles dafür, daß er sich dieses Schutzes bewußt ist. Ähnlich könnten auch andere Fälle erklärt werden. Aber diese Erklärung versagt denn doch in den obigen Fällen ebenso, wie auch im Falle etwa der weißen Polartiere, die doch nicht wohl deshalb nach

Norden gewandert sind, weil sie einmal weiß waren. Für Fälle der letzteren Art dürfte vielmehr die Hypothese der „direkten Bewirkung", wie sie Kammerers Salamanderversuche so schön zeigen, mehr für sich haben[144], während jene ganz besonderen, bis in die kleinsten Einzelheiten gehenden Nachahmungen bisher keine andere Erklärung als die durch die Selektion zulassen, obwohl gerade hier der Einwand des mangelnden Selektionswertes der geringfügigen ersten Variation zutrifft. Will man das nicht zugeben, so muß man einstweilen auf eine Lösung verzichten, wenn man nicht wieder einmal die unbewußt wirkende zwecksetzende Entelechie oder gar den Schöpfer als Verlegenheitshypothese in eine Lücke des Naturerkennens einschieben will, was hier sicherlich um so unangebrachter ist, als es sich um eine Teilgruppe von Erscheinungen handelt, deren nächstverwandte Fälle recht gut kausal erklärt werden können.

Damit mag es nun der Kritik und Antikritik genug sein. Der Zweck der ganzen Erörterung ist erfüllt, wenn der Leser einen möglichst kräftigen Eindruck davon bekommen hat, wie unermeßlich verwickelt das ganze Problem des Werdens der Organismen ist, wie viele verschiedene Gedanken nebeneinander berechtigt sind und wie verkehrt es daher ist, einen einzigen zur allein seligmachenden Theorie zu stempeln. Wer das alles überblickt, wird nicht im Zweifel sein, daß alle die angeführten Prinzipien und dazu noch viele andere hier nicht angeführte an ihrer Stelle zur Lösung mit herangezogen werden müssen. *Nicht das ist also das Problem, ob der Darwinismus oder der Lamarckismus usw. Recht haben, sondern wie weit und worin jeder einzelne Recht hat.* Ich will auch nicht ermangeln, noch ausdrücklich zu erklären, daß ich durchaus nicht der Meinung bin, die Selektion sei kurzerhand zum alten Eisen zu werfen. Ich glaube vielmehr, daß ihr eine sehr bedeutende Rolle bei dem Prozeß der Artenbildung zufällt, keineswegs eine „bloß negative", wie man heute oft sagt, mit der Begründung, die Selektion erkläre wohl das Bestehen, aber nicht das Entstehen der Arten. Der wesentliche Grundgedanke der Selektion ist, wie schon S. 322 hervorgehoben der, daß durch sie unter vielen Variationen, *die an sich noch keine Beziehung zum Bedürfnis zu haben brauchen*, auch passende sein können und daß diese durch die Wirkung der Selektion sich durchsetzen und so eine neue Art begründen können. Trotz direkter Anpassung und Orthogenese ist es recht wohl denkbar, daß auch auf diesem Wege Arten entstehen, man soll nur nicht behaupten, daß sie alle nur so

entstehen. Wenn aber welche so entstehen, so ist in der Tat die Selektion der entscheidende Faktor, und es ist albern, ihr dann vorzuwerfen, sie setze mit der Variation das Wesentliche voraus, sie selbst liefere nichts Neues, sondern nur Ausmerzung und dergleichen. In solchem Falle ist sie das Artbildende, die Variation (Mutation) liefert nur das an sich indifferente Material. Vielleicht wird man, wenn auch die Hochflut der Kritik verebbt sein wird, mehr derartiger Fälle zählen, als viele heute zu glauben geneigt sind.

Doch das sind rein wissenschaftliche Streitfragen. Im ganzen darf man wohl sagen, daß sich mehr und mehr auch auf diesem Gebiete eine nüchterne gerechte Würdigung aller berechtigten Prinzipien durchsetzt. Leider kann man das von der volkstümlichen Literatur über diesen Gegenstand noch nicht sagen. Hier erscheint leider noch immer das rein wissenschaftliche Problem mit den heftigsten Weltanschauungskämpfen vermengt. Wir müssen, so unerquicklich das auch ist, doch auch darauf kurz eingehen. Es ist eine tief betrübende Tatsache, daß ein Buch wie Haeckels Welträtsel, dessen philosophischer Tiefstand von Anfang an mit Recht in den schärfsten Worten angegriffen ist und dessen wissenschaftliches Niveau mittlerweile zu allem Überfluß auch gänzlich veraltet ist, im Kriege und noch jetzt nachher von neuem eine so weite Verbreitung gefunden hat. Nur der fast völlige Mangel naturwissenschaftlicher Bildung in den weitesten Volksschichten kann eine solche Kritiklosigkeit erklären. Auf der anderen Seite ist zwar der Widerstand, den die ganze Abstammungslehre vordem vor allem in kirchlichen Kreisen fand, im großen und ganzen aufgegeben, wozu auf katholischer Seite wohl Wasmann, auf evangelischer Dennert das meiste beigetragen haben, doch sind diese Kreise noch weit davon entfernt, dem ganzen Problem gegenüber eine völlig unbefangene, rein sachliche Stellung einzunehmen, vielmehr wird noch überall versucht, an möglichst vielen einzelnen Stellen doch noch das Eingreifen übernatürlicher Mächte oder zum mindesten die Annahme einer fortwährenden „Leitung" durch solche als unentbehrlich hinzustellen. Aus diesem Grunde bevorzugt man, wie schon oben erwähnt, in starkem Maße den Psycholamarckismus und die Orthogenese und richtet alle nur erdenklichen Angriffe gegen die darwinistische Selektionslehre.

Man wirft dem Darwinismus vor, er liefere die Welt dem blinden Zufall aus, er setze an die Stelle einer gottgewollten Vorwärtsentwicklung ein Werk der kalten, mechanisch wirkenden Auslese; rein zufällig entständen

zweckmäßige wie unzweckmäßige Variationen nebeneinander, rein mechanisch züchte der Kampf ums Dasein die brauchbaren davon weiter, und so erscheine diese ganze so wundervoll organisierte, lebende Welt als Werk des blinden Spiels unpersönlicher Kräfte ohne Sinn noch Verstand noch Ziel noch Zweck. Mit solcher Auffassung sei freilich der Glaube an einen persönlichen Gott unvereinbar.

Wir haben hier nicht über die Berechtigung oder Notwendigkeit dieses Glaubens an sich zu befinden, da wir grundsätzlich hier nicht Partei in Weltanschauungsfragen ergreifen wollen. Aber den Nachweis, daß der Kampf gegen den Darwinismus aus theistischem Interesse zwecklos ist, wenn man einmal überhaupt die Deszendenzlehre annimmt, können und müssen wir führen, da auch das einen Beitrag zu der Loslösung der naturwissenschaftlichen Fragen von allen Nebeninteressen liefert, die das nächste erstrebenswerte Ziel in dem Gewirr der heutigen Weltanschauungskämpfe bilden muß.

Die Gegnerschaft gegen den Darwinismus aus vermeintlichem theistischen Interesse ist eine Täuschung, die ganz auf derselben Linie liegt, wie die ebenso überflüssige Parteinahme der Theisten in dem mechanistisch-vitalistischen Streite für den Vitalismus (s. S. 295 ff.). Wenn Gott nach theistischer Auffassung alles in der Welt wirkt, in jedem Augenblick jedes Atom, so ist es inkonsequent, einen etwa durch natürliche Zuchtwahl verlaufenden Entwicklungsprozeß als eine Instanz gegen diese theistische Auffassung anzusehen. Dennert sagt an einer Stelle seiner Broschüre: „Weltbild und Weltanschauung": „Werden wir nur endlich konsequent und sehen das Wirken Gottes in jedem fallenden Regentropfen, so werden wir es auch um so leichter in dem sich entwickelnden Hühnchen finden." Anderswo heißt es: „Wer die Urzeugung als eine Instanz gegen den Gottesglauben empfindet, kann mit eben demselben Rechte jeden beliebigen physikalischen oder chemischen Vorgang als einen Widerspruch dagegen empfinden; denn daß ein solcher aus „der Materie immanenten Kräften" hervorgeht, wird niemand leugnen." Diese „der Materie immanenten Kräfte" sind ja eben nichts anderes als die direkten Ausflüsse der Wirksamkeit Gottes in der Natur, wie der obige Satz zeigt, und wie es auch allein der nicht deistisch entarteten theistischen Auffassung entspricht. („In ihm leben, weben und sind wir.") Daher geht der genannte Autor denn auch ganz folgerichtig zu dem Satze über: „Es könnte vielleicht ja so sein,

daß Gott diesen Weg, den Weg der natürlichen Zuchtwahl, als den (zur Erreichung des Ziels) unbedingt nötigen eingeschlagen hätte. Es stünde dem nichts entgegen, dies zu glauben . . . die Schwierigkeiten der Darwinschen Lehre liegen in rein naturwissenschaftlichen Bedenken." (Wb. u. W. A. S. 47.) Man sollte nun doch meinen, hiermit wäre die Sache erledigt — mögen also die Naturforscher, die jetzt allein noch das Wort haben, zusehen, wie weit die Darwinschen Lehren stichhaltig sind, und mag derjenige, der sie aus biologischen Gründen ablehnen zu müssen glaubt, das mit den Fachgelehrten abmachen. Statt dessen findet sich nun aber nicht nur bei Dennert selbst (den ich hier nur als Beispiel zitiert habe), sondern in fast der ganzen hierher gehörigen christlich-apologetischen Literatur neben dieser Beweisführung eine andere, die alles wieder umwirft. Denn nun ist wieder die Rede davon, daß „der Darwinismus demnach doch die große Zweckmäßigkeit der Organismen dem Zufall ausliefert" und von der „gewaltigen Alternative: Zufall oder Gotteswille", was in dieser Zusammenstellung also doch kein Leser anders verstehen kann, wie als einen absoluten Gegensatz zwischen Darwinismus und Gottesglauben. Diese Ansicht aber, nicht jene ihr schnurstracks widersprechende Hervorhebung der Verträglichkeit des Darwinismus mit dem Gottesglauben ist es, die ins christliche Publikum gedrungen ist und es mit Abneigung gegen den „Darwinistischen Zufallsglauben" erfüllt hat und noch immer von neuem erfüllt. Welche von den beiden sich widersprechenden Ansichten die richtige und einzig konsequente ist, bedarf wohl nach dem früher Entwickelten hier keiner weiteren Auseinandersetzung, ebenso auch, welche Gründe es verursacht haben, daß nicht sie, sondern die falsche Gegensätzlichkeit von Darwinismus und Theismus ins Volk gedrungen ist (vgl. jedoch dazu auch S. 323). Jedenfalls hat daran die Ausbeutung der darwinistischen Lehren zu materialistisch-monistischer Propaganda einen ebenso großen Anteil, wie die konservative Tendenz der Kirche.

Für die Wissenschaft kommt selbstredend alles dies überhaupt nicht in Betracht. Sie hat lediglich festzustellen, soweit sie eben kann, wie es bei der Entstehung der Arten zugegangen ist. Wir dürfen wohl heute sagen, daß aus einem Jahrhundert intensivster Arbeit an diesem Problem wenn auch bei weitem noch keine Lösung, so doch die sichere Aussicht sich ergeben hat, daß wir dies Problem einmal in seinen wesentlichen Zügen lösen werden. Vor allem ist ein weiterer Fortschritt zu erhoffen von der immer umfangreicheren Einführung des biologischen Experi-

m e n t e s. Auf die Notwendigkeit solcher Experimente, auf die Unsicherheit des bloßen Spekulierens und Konstruierens von Stammbäumen mit Nachdruck hingewiesen zu haben, ist ein unbestreitbares Verdienst aller derer, die in unseren Tagen so eifrig die Darwinsche Lehre kritisch zergliedert haben. Wir sind uns dadurch wieder bewußt geworden, daß das, was uns das Genie eines Darwin hinterlassen hat, nicht eine fertige Lösung, sondern eine weite und große Aufgabe war, an der noch Generationen zu arbeiten haben werden. Wenn man das früher im ersten Rausch der Freude über das neue Erkenntnisgebiet oft vergessen hat, so ist damit nur geschehen, was in allen parallelen Fällen in der Geschichte der Wissenschaften sich wieder beobachten läßt. Zuerst vage und unbestimmte Vorstellungen, aus klarer Erkenntnis und allerlei mystischem Halbdunkel wunderbar gemischt. Dann kommt ein Genie, ein Kopernikus, Newton oder Darwin, und wie mit einem Schlage beginnt aus dem Chaos unkontrollierbarer Meinungen eine W i s s e n s c h a f t zu werden. Dann aber geht es unvermeidlich in ein Extrem hinein. Das Genie, der Bahnbrecher wird zum Führer gewählt, auch da, wo seine Intuitionen nicht mehr anwendbar sind. Eine Zeitlang geht es noch gut, mit allerlei Hilfshypothesen wird das wankende Gebäude gestützt; schließlich aber geht auch das nicht mehr, und nun setzt eine kritische Reaktion ein, deren Hochflut dann auch manches, was wohl brauchbar war, mit hinwegzuschwemmen droht. Dann erst, wenn auch dieser Rückstoß abgeebbt ist, beginnt das, was wirklich an der genialen Leistung bleibend war, sich als fruchtbar für immer neue Einsichten zu erweisen, und erst jetzt kann eine nüchterne, von allen Extremen sich fernhaltende Forschung geradeswegs auf ihr Ziel losgehen. In der Deszendenztheorie stehen wir noch nicht ganz am Abschluß der kritischen Periode, doch dürfte wohl das Maximum derselben auch schon überschritten sein. Überall regen sich die Ansätze zu Forschungen, die weder dogmatischer noch kritischer Tendenz dienen sollen, sondern einfach die Frage: Wie ist's wirklich? im Auge haben. Von ihnen hängt der weitere Fortschritt ab.

Was hier von der Abstammungstheorie im allgemeinen gesagt wurde, das gilt in ganz besonderem Maße von dem besonderen Abstammungsproblem, das im Grunde eigentlich die Ursache davon ist, weshalb sich an die Deszendenzlehre ein so erbitterter Kampf geknüpft hat, dem Problem der A b s t a m m u n g d e s M e n s c h e n. Mit einer gewissen inneren Notwendigkeit sind a l l e Weltanschauungstendenzen, die in die Deszendenz-

lehre hineingespielt haben, immer am krassesten bei den Folgerungen zum Ausdruck gekommen, die man für den Menschen daraus gezogen hat. Aller Dogmatismus, aber auch aller Kritizismus ist hier am geschäftigsten bei der Arbeit gewesen, und es ist gewiß nicht zu viel behauptet, wenn man sagt, daß fast die Hälfte von allem, was über Abstammungslehre geredet und geschrieben worden ist, auf dies spezielle Problem zugeschnitten war. In der Tat ist ja auch das Menschenproblem diejenige Stelle, wo die Naturerkenntnis anscheinend direkt in die gesamte Weltanschauung, die doch immer zugleich auch eine Anschauung von unserem eigenen lieben Ich sein muß, hineinmündet. Und das ist sicher auch keine Frage, daß die Anwendung des Deszendenzgedankens auf den Menschen eine ähnliche Umwälzung der Gedankenwelt bedeutet, wie sie vor 300 Jahren die Aufgabe des ptolemäischen und die Annahme des kopernikanischen Weltsystems bedeutet hat. Ob freilich dadurch die gesamte Weltanschauung wirklich auf eine völlig andere Grundlage gestellt wird, ist eine andere Frage, die nicht so einfach mit ein paar Worten abzumachen ist. Es mag überhaupt gewagt erscheinen, wenn wir Heutigen, die wir noch mitten in diesem Umwälzungsprozeß stehen, uns schon über die Tragweite desselben Urteile erlauben. Die Geschichte zeigt, daß ein objektives Urteil über solche grundlegenden Erkenntnisse in der Regel erst späteren Generationen möglich wird. Nichtsdestoweniger muß es versucht werden, wenn nicht unser Weltbild ein ganz unmöglicher und unerträglicher Torso bleiben soll. Wir wollen deshalb hier auch noch eine kurze Untersuchung anknüpfen über

Ursprung und Stellung des Menschen.

Auch in dieser Frage wollen wir nach Kräften uns bemühen, sowohl der allzu voreiligen Alleswisserei als der Überkritik zu entgehen, die leider nur zu oft auf den Unterton: Gott sei Dank, noch wissen sie's nicht! gestimmt ist, und wollen uns deshalb zuerst wieder zu vergegenwärtigen suchen, was an tatsächlichen Beobachtungen bisher vorliegt.

Was man bisher durch geschichtliche und urgeschichtliche, geologische und paläontologische, ethnographische, ethnologische und philologische Untersuchungen herausgebracht hat, stellt heute schon eine ganz ungeheure Summe von Wissen dar, wenn man es vergleicht mit dem Zustande der Anthropologie vor 100 Jahren, ist aber doch recht wenig, erst ein kleiner Anfang, gemessen an dem, was wir eigentlich wissen müßten, um sagen zu

können, daß wir uns über den Ursprung unseres Geschlechts völlig klar wären. Darin, daß wir dies von vornherein uns vergegenwärtigen, braucht aber wiederum kein Grund zu einer mutlosen oder gar heimlich erfreuten Resignation zu liegen. Was uns Kopernikus gelehrt hat, war auch erst der Anfang einer wirklichen Erforschung des Weltgebäudes, ein winziger Bruchteil von den Problemen, die noch heute die Astronomie in Atem halten. Und doch war es bedeutsamer, als alles, was nachher die Astronomen noch herausgebracht haben und jemals herausbringen werden. Denn es war der erste Schritt und darum der schwierigste Schritt zu einer natürlichen, von den alten Vorurteilen der unmittelbaren Sinneseindrücke freigemachten Auffassung. Dieser Schritt, die Loslösung von dem alten naiven Geozentrismus wog schwerer, als alle folgenden zusammen. Denn er hat diese überhaupt erst möglich gemacht. Etwas Ähnliches haben wir im vergangenen Jahrhundert erlebt auf dem Gebiete der organischen Welt. Die Erkenntnis, daß auch das Werden und Wachsen dieser Welt und das Geschehen in ihr nach erforschbaren Gesetzen sich abgespielt hat und noch immer abspielt, und daß insonderheit auch das Menschengeschlecht in diesen großen Zusammenhang einer organischen Entwicklungsgeschichte hineingehört, wird sich in alle Zukunft untrennbar an den Namen Darwin knüpfen, mag von dessen Lehren im übrigen auch vieles einer besseren Erkenntnis weichen, und mag er, ebenso wie Kopernikus, auch manchen Vorgänger gehabt haben. Sie sind nicht durchgedrungen in der allgemeinen Überzeugung, aber dieser eine, der von Kant geforderte „Newton des Grashalms", schlug durch und gab dem Geistesleben seiner Zeit eine neue Richtung. Mag daran sein persönliches Verdienst sein, wie viel oder wie wenig man will, die Geschichte knüpft es nun einmal — und mit Recht — an seinen Namen.

Was in der Astronomie die richtige Erkenntnis so schwer machte, ist unsere eigene räumliche Kleinheit, unser Gefesseltsein an die Erde, wodurch sie uns als der einzige ruhende Körper erscheint, um den sich alles andere bewegt. Was in der Biologie uns hinderte, ist unsere enge Beschränkung in der Zeit. Die Menschheit kannte nur sich selbst und die Tier- und Pflanzenwelt in ihrem gegenwärtigen Bestande und aus geschichtlicher Überlieferung ein paar hundert oder tausend Jahre. Was ist das gegen geologische Zeiträume? Wie sollte man auf den Gedanken an allmähliche Umbildungen kommen, wo doch „seit Menschengedenken" alles so geblieben war, wie es noch heute ist? Beide Male kam ferner ein (vermeintliches) religiöses Bedenken, das stärkste aller denkbaren Hindernisse hinzu. Die

Geschichte des Streites um das kopernikanische System ist bekannt genug. In dem biologisch-anthropologischen Problem erscheint uns aber sogar noch heute die Opposition seitens der Kirche nicht so unbegreiflich, wie in jenem Falle. Wir wollen auf die Gründe derselben unten zurückkommen. Jedenfalls ist es klar, daß von einer wissenschaftlichen „Urgeschichte" der Menschheit überhaupt keine Rede sein konnte, so lange man vollkommen damit zufrieden war, die „Urkunden" der biblischen Schöpfungsgeschichte darüber zu besitzen, wonach die Menschen als ein Paar zuerst vor ca. 6000 Jahren erschaffen wurden. Damit war ja alles Wissenswerte schon gesagt. Die Menschheit, d. h. die gebildete europäische Menschheit, gezwungen zu haben, diese harmlos übernommene Anschauung zum mindesten gründlich zu revidieren, ist vielleicht die wesentlichste Seite an der ganzen modernen anthropologischen Forschung. Denn stürzte von diesem ganzen überkommenen Gebäude auch nur ein kleiner Teil ein, so ergab sich die absolute Notwendigkeit, alles von Grund aus auf seine Haltbarkeit hin zu prüfen, und damit wurde die Bahn für die einfache, sachliche Forschung frei. Wir kommen darauf unten zurück, wollen aber nunmehr zuerst sehen, welche wirklichen Ergebnisse dabei herausgekommen sind.

Die geschichtlichen und philologischen Untersuchungen können hier nur kurz gestreift werden. Das für unsere Gesamtanschauung wichtigste Ergebnis der ersteren ist die Hinaufrückung der Grenze unserer „Geschichte" in sehr viel weiter zurückliegende Zeiten, als man vordem in Betracht zog. Die Ausgrabungen, die man an allen Stellen der bewohnten Erde gemacht hat, besonders aber die in Mesopotamien und Ägypten gemachten Funde haben uns Kunde gegeben von Kulturen, Sprache, Schrift, Sitten, Religion und Recht, die bis zu 5000 v. Chr. zurückliegen. — Die sprachlichen Forschungen haben bisher zu einem einheitlichen Gesamtergebnis noch nicht geführt, das geeignet wäre, auf den Urzustand der Menschheit ein bestimmtes Licht zu werfen. Es ist noch nicht entschieden, ob die Sprachen der verschiedenen Gruppen: Semitisch, Indoeuropäisch usw. letzten Endes doch auf eine gemeinsame Wurzel zurückgehen (Trombelli), oder ob sie selbständige Gebilde sind. Doch liegt kein Grund vor, an der dereinstigen Lösung auch dieses Problems völlig zu verzweifeln. Einstweilen erweitert sich noch von Jahrzehnt zu Jahrzehnt der Umfang des Gebietes so stark, daß die Forscher alle Hände voll mit speziellen Untersuchungen zu tun haben. — Ähnlich liegt die Sache auch mit den ethnologischen Untersuchungen und der vergleichenden Rassenkunde. Da ist noch alles im Werden und

ein Problem nach dem anderen taucht auf. Es wird noch viele mühsame Kleinarbeit geleistet werden müssen, ehe man sich zu umfassenderen Perspektiven zu erheben wagen kann[145].

Etwas ausführlicher wollen wir nun verweilen bei den im engeren Sinne zur Naturwissenschaft gerechneten, freilich mit der üblichen Anthropologie unlösbar verknüpften geologisch-paläontologischen Untersuchungen über den Urzustand der Menschheit[146].

Die wichtigste Frage ist zunächst die nach dem geologischen Alter der Menschheit. Daß der Mensch zu den letzten auf der Erde aufgetretenen Geschöpfen gehört, wahrscheinlich sogar das letzte schlechthin ist, kann nach dem Gesamtbefunde nicht bezweifelt werden. Die Hauptfrage ist nun, ob wir den Menschen schon in der vorletzten Epoche der Erdgeschichte, dem Tertiär, anzunehmen haben, oder ob er erst in den ersten Zeiten der letzten Epoche (des „Quartärs") in der Diluvialzeit entstand. Die Forscher haben wohl von jeher der ersteren Annahme zugeneigt, die Forschung selbst aber hat bislang fast ebenso hartnäckig jedes Zeugnis des Menschen aus der Tertiärzeit verweigert. Und doch kennt man schon seit langem eine gewisse Art von Dokumenten, die von vielen Seiten als Beweise für die Existenz des Tertiärmenschen angesehen wurden. Das sind die sog. Eolithe (= Steine der Morgenröte, gemeint ist die Morgenröte der anbrechenden Kultur), Feuersteinstücke, deren Ränder in eigentümlicher, roher Weise ausgekerbt und zugeschärft sind, so daß das Ganze wohl den Gedanken an künstliche beabsichtigte Zubereitung nahelegen kann. Derartige Steine fand man geradezu massenhaft in den tertiären Ablagerungen Frankreichs, Belgiens und Englands. Aber Rutot, der sie zuerst eingehend untersuchte und sie für Kunstprodukte, somit also für Beweisstücke der Existenz des Tertiärmenschen hielt, drang mit dieser Ansicht nicht durch. Später hat sich das Blatt entschieden gewendet und zwar durch die Arbeiten von Klaatsch. Dieser bereiste, zunächst um vergleichender Rassenuntersuchungen willen, Australien, und fand nun dort bei den Eingeborenen primitive Feuersteinwerkzeuge, die den Eolithen nicht nur genau entsprechen, sondern sogar zum Teil noch primitivere Beschaffenheit als diese aufweisen (Abb. 56). Auch konnte Klaatsch an Ort und Stelle die einfache Technik studieren, deren sich die Eingeborenen zur Herstellung dieser Werkzeuge bedienen. Alles was er sah, führte ihn und nunmehr auch viele andere Forscher zu der Überzeugung, daß die Eolithe doch als Kunstprodukte, mithin als Zeugnisse der Existenz des Tertiärmenschen zu be-

werten seien. Verstummt ist aber der Widerspruch gegen diese Hypothese noch keineswegs. Es bleibt immerhin doch bedenklich, daß bei so vielen Eolithen kein einziger Skelettfund uns aus allen Zweifeln gerissen haben sollte. Auch ist nicht zu bestreiten, daß die Beschaffenheit der Eolithe sich auch durch Naturwirkungen erklären läßt. Bei Wirkung plötzlicher starker Drucke springen die Feuersteinränder in der Weise ab, wie wir es

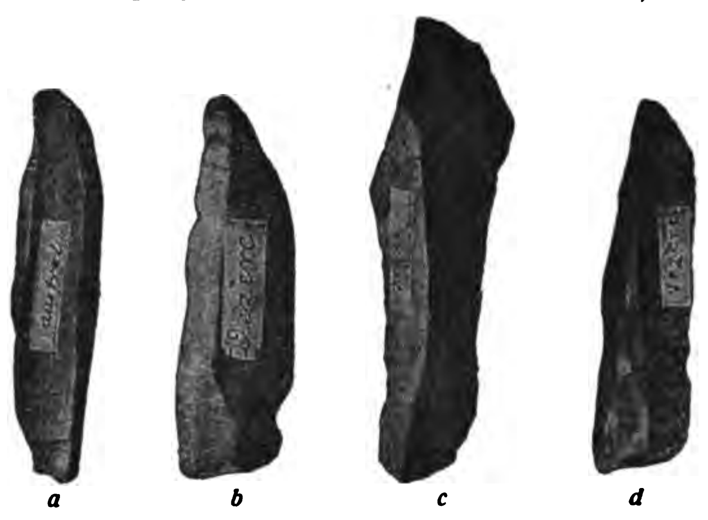


Abb. 56. Australische Feuersteinmesser und französische Eolithen (aus Mod. Naturkunde).

bei den Eolithen sehen, und schließlich ist auch die Technik der Australier nichts anderes als eine willkürliche Anwendung dieser Erkenntnis. Man hat beobachtet, daß Glasstücke auf Promenaden oft infolge der Wirkung der Fußtritte zu den schönsten Miniatureolithen geworden sind (*Sarasin* u. a.). Wir wollen uns deshalb hüten, diese Frage hier zu entscheiden. Der Umstand, daß die Eolithe auf natürliche Weise entstehen *können*, schließt natürlich, wie die Australier beweisen, nicht aus, daß sie doch auch Kunstprodukte sein *können*. Ebenso aber umgekehrt. Lassen wir daher diese Frage vorläufig auf sich beruhen. In keinem Falle aber ist es zulässig zu sagen, die Wissenschaft *habe ergeben, daß* der Tertiärmensch *nicht* existiert habe. Sie hat bisher *nicht* mit Sicherheit *ergeben, daß* er existiert hat (vgl. S. 234), jeden Tag kann aber ein Skelettfund dieses Ergebnis bringen. Der Grund, warum man immer wieder

zu der Annahme gedrängt wird, daß die Anfänge unseres Geschlechts bis in diese Zeit hinaufreichen, ist der Befund, den uns die Entdeckungen betreffend den Diluvialmenschen zeigen. Der Mensch scheint in diesen ältesten Resten schon auf einer so hohen körperlichen wie geistigen Ausbildungsstufe zu stehen, daß man, wenn man sich überhaupt auf den Standpunkt der Entwicklungslehre stellt und nicht die Annahme eines „neuen Schöpfungsaktes" vorzieht (s. u.), eine lange Vorgeschichte postulieren muß bis zu dieser Höhe hin. Und die kann dann nur im Tertiär liegen.

Auch von Übergängen primitiverer Formen zu den eigentlichen Diluvialmenschen ist leider bisher sehr wenig bekannt geworden. Die weitaus meisten der gemachten Ausgrabungen beziehen sich auf den letzteren. Älter sind wahrscheinlich nur einige in Südamerika gemachte, aber noch unsichere Funde, ferner der berühmte Fund von Piltdown in England und vor allem der Heidelberger Unterkiefer. Zweifelhaft ist auch der berühmte „Pithecanthropus" von Java, der höchstwahrscheinlich in der Diluvialzeit schon mit echten Menschen dort zusammengelebt hat, also jedenfalls wohl nicht als ihr Vorfahre in Betracht kommen kann, sondern entweder eine Seitenlinie oder aber einen besonders großen Gibbon vorstellt. (Erhalten sind nur Schädeldach und Oberschenkel.) Der Fund von Piltdown (Smith-Woodward und Dawson 1913) war bisher umstritten. Während die Entdecker in ihm die Reste eines bisher unbekannten spättertiären bis frühdiluvialem, sehr primitiven Urmenschen (Eoanthropus) gefunden zu haben glaubten, traten die meisten namhaften Forscher bislang dafür ein, daß die (sehr unvollständig erhaltenen) Schädelteile und der Unterkiefer nicht zusammen gehörten, sondern der erstere einer besonderen Urmenschenrasse (Homo Dawsoni), der letztere samt dem aufgefundenen Oberkiefereckzahn einer fossilen Schimpansenart zugesprochen wäre. Durch einen während des Krieges erfolgten zweiten Fund an derselben Stelle (1917), bei dem wieder die gleichen Teile zusammen gefunden wurden, erhöhte sich jedoch in letzter Zeit die Wahrscheinlichkeit der ursprünglichen Deutung sehr erheblich. Einstweilen ist sie freilich noch nicht über jeden Zweifel erhaben. Trifft sie jedoch zu, so dürfte dies wohl der älteste bisher bekannte Urmensch sein, und es ist dann sehr beachtenswert, daß sich hier eine ganz eigenartige Kombination von Menschen- und Schimpansenmerkmalen vorfindet. Am meisten läßt sich bisher mit dem Heidelberger Unterkiefer (Abb. 57) anfangen, welcher ziemlich vollständig erhalten, leider aber bisher der einzige

Rest des vermuteten homo heidelbergensis ist. Zeigt dieser Unterkiefer selbst in seiner Massigkeit, dem völlig fehlenden Kinn sowie der Beschaffenheit des Gelenkfortsatzes durchaus Merkmale der menschenähnlichen Affen, so trägt er andrerseits ein Gebiß, das völlig menschenähnlich ist, u. a. auch keine Spur von den für die Affen charakteristischen großen Eckzähnen erkennen läßt. Ein vollständiger Skelettfund würde hier wahrscheinlich mit einem Schlage zahllose Rätsel lösen. Das Alter dieses Fundes muß nach neueren Berechnungen auf die erste oder zweite Zwischeneiszeit gesetzt



Abb. 57. Unterkiefer von Mauer bei Heidelberg.

werden und kann nach dem oben (S. 196) dargelegten auf etwa 200 000 bis 400 000 Jahre geschätzt werden. Auf jeden Fall ist er ganz erheblich älter als die anderweitig bekannten diluvialen Menschenreste, wenn er auch nicht so alt ist, wie man anfangs geglaubt hatte.

Wesentlich vollständiger ist nun das Bild, was wir uns von diesen Diluvialmenschen selber auf Grund einer großen Reihe von Ausgrabungen in den verschiedensten Teilen Europas (Frankreich, Spanien, Südengland, Belgien, Mittel- und Süddeutschland, Kroatien usw.) machen können. Wir wissen mit Sicherheit, daß diese Menschen in dem zum Teil vergletscherten Europa (Eiszeit) mit Renntier, Nashorn und Mammut zusammengehaust und sich von der Jagd auf diese und andere Tiere genährt haben. Es ist ferner sehr wahrscheinlich, daß damals gleichzeitig mindestens zwei verschiedene Rassen in Europa gelebt haben, vielleicht sich gegenseitig bekämpfend und — verzehrend, denn man glaubt die Reste einer solchen kannibalischen Mahlzeit bei Krapina in Kroatien gefunden zu haben. Diese beiden Rassen bezeichnet man als Neandertalmensch und Aurignacmensch (Abb. 58 u. 59) (nach zwei wichtigen Fundorten — es ist freilich nicht ganz



Abb. 58. Schädel eines jugendlichen Neandertalers von Le Moustier (nach Hauser-Klaatsch).



Abb. 59. Schädel des Homo Aurignacensis Hauseri (aus Hauser „Der Mensch vor 100000 Jahren", Verlag Brockhaus, Leipzig).

sicher, daß der berühmte Neandertalschädel wirklich zu der jetzt anderswo in vielen Exemplaren gefundenen Rasse gehört, die seinen Namen trägt). Ob es noch andere Rassen früher oder später in Europa gegeben hat, muß sich noch erst genauer herausstellen. Es wurde soeben schon erwähnt, daß wir diese Diluvialmenschen schon im Besitze einer verhältnismäßig ausgebildeten Kultur vorfinden. Bei einem der von Hauser in Frankreich (Le Moustier) ausgegrabenen Skelette, dem eines jungen Mannes, fand Hauser eine ausgeprägte Begräbnisstellung". Die ganze Anlage ließ darauf schließen, daß dieser junge Mann von seinen Angehörigen oder Stammesgenossen nach allen Regeln der damaligen Sitte „begraben" worden ist. Es hält schwer, sich der weiteren Folgerung zu entziehen, daß Menschen, die ihre Toten begraben, doch wohl auch, wie wir das an allen Naturvölkern in solchem Falle beobachten, den Glauben an eine Art Weiterleben der „Seele" des Gestorbenen haben müßten. (Die betreffenden Völker wollen sich durch das Begräbnis und die Pflege des Grabes die Seele des Verstorbenen günstig stimmen oder vielleicht auch ihr noch nach dem Tode Angenehmes erweisen.) — Noch viel überraschender aber als diese immerhin nicht ganz sicheren Schlußfolgerungen sind die Entdeckungen, die man über die Anfänge künstlerischer Tätigkeit bei jenen uralten Renntier- und Mammutjägern gemacht hat. In zahlreichen Höhlen, besonders in Frankreich (Combarelles) und Spanien (Altamira[147]), hat man Zeichnungen, zum Teil sogar fertig ausgemalte, gefunden, die oft mit frappierender Naturwahrheit alle jene Tiere Büffel (Wisents), Wildpferde, Mammuts u. a. darstellen (Abb. 60, 61, 62). Selbst einfache Skulpturen auf Mammutelfenbein sind gefunden, allerdings aus späterer Zeit. Man staunt über die Sicherheit, mit der diese Naturkinder mit ein paar Strichen oft höchst charakteristische Stellungen und Ausdrücke der Tiere, z. B. die Wut des mit gesenktem Kopfe den Feind erwartenden Wisents, festgehalten haben, und möchte das Ganze für einen dummen Witz einiger moderner Eulenspiegel halten, um die Gelehrten hinters Licht zu führen, wenn nicht die Berichte über die Auffindung der betreffenden Malereien solche Gedanken auszuschließen schienen.

Wenn wir nach alledem mit Recht hoffen dürfen, in nicht zu ferner Zeit ein einigermaßen zutreffendes Bild von dem Leben der diluvialen Menschheit zu besitzen, so sind wir doch weit entfernt von der Lösung der Hauptaufgabe, den Ursprung dieser Menschheit zu ergründen. Vorläufig steht sogar noch nicht einmal sicher fest, wie sie mit der heutigen Menschheit zusammenhängt. Daß der Neandertaler unser Vorfahre wäre, ist recht unwahrschein-

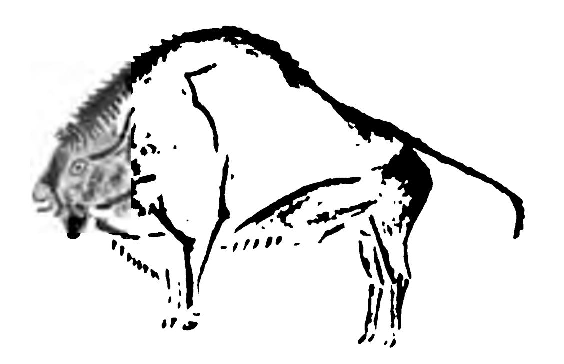


Abb. 60. Brüllender Wisent (Altamira).



Abb. 61. Wildschwein (Altamira).

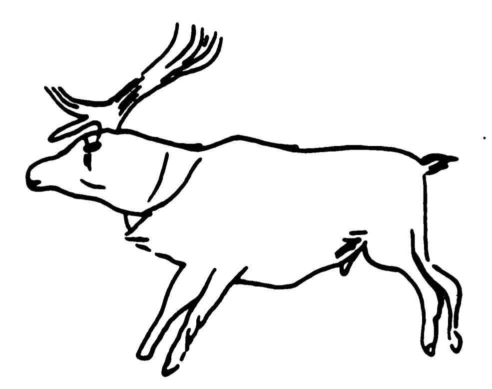


Abb. 62. Fliehender Hirsch (Combarelles).

lich. Er erinnert sehr stark an den heutigen Australier, der nahezu als auf dieser Stufe stehen gebliebene Rasse betrachtet werden kann (s. auch Abb. 63). Eher kann der Aurignacmensch als unser Vorfahre in Betracht kommen. Doch ist auch das keineswegs sicher. Von manchen Gelehrten wird die Meinung vertreten, daß die eigentliche Kulturrasse, die Germanen, aus dem hohen Norden, durch den Kampf gegen die Kälte zu hoher Voll-

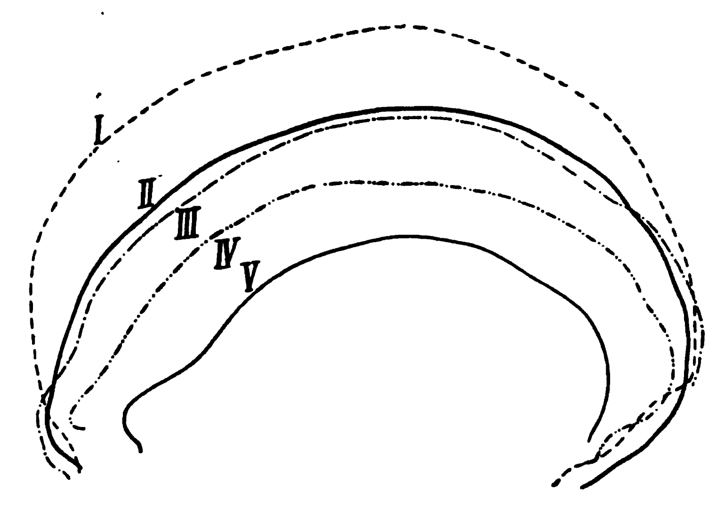


Abb. 63. Schädelkurven nach Macnamawa.
I Engländer. *II* Australier. *III* Neandertaler. *IV* Pithecanthropus.
V Schimpanse.

kommenheit herangezüchtet, in Europa eingewandert seien. Noch viel unsicherer aber als solche Hypothesen sind alle Vermutungen über die Zusammenhänge jener ältesten Menschenformen mit dem allgemeinen tierischen Stammbaum. Nur das darf man sagen, daß die früher so viel erörterte Annahme der direkten Abstammung von anthropoiden Affen heute fast allgemein abgelehnt wird. Der Grund ist hauptsächlich in der Beschaffenheit des Gebisses zu suchen, das beim Menschen einen viel weniger differenzierten Typus als beim Affen aufweist, so daß man wohl das Gebiß des letzteren aus dem des ersteren, aber nicht umgekehrt ableiten kann. Auch Häckels „biogenetisches Gesetz" spricht entschieden für diese Auffassung, da ein junger Affenschädel einem jugendlichen Menschenschädel zum Verwechseln ähnlich ist. Erst später entwickelt er sich zu der unschönen tierischen Form mit dem hervor-

stehenden Gebiß und der fliehenden Stirn (Abb. 64 u. 65). So nimmt man heute meist an, daß Mensch und Menschenaffe von gemeinsamen Vorfahren abstammen, daß ein Teil dieser ursprünglichen „Herrentiere" sich die kindlicheren Formen und damit die Fähigkeit zur Menschwerdung erhielt und diese vielleicht in besonders günstigen klimatischen Verhältnissen (in der Tertiärzeit war es sehr viel wärmer) ausbildete, während die Anthropoiden durch die Ausbildung des Kieferteils in eine Sackgasse gerieten. Aus vielen neueren Untersuchungen (von Klaatsch u. a.) scheint hervorzugehen, daß zwischen

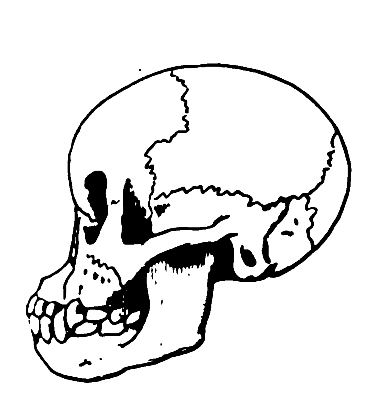


Abb. 64. Junger Orang-Schädel.



Abb. 65. Schädel des alten Orang.

bestimmten Menschenrassen und je einer einzelnen Gattung der großen Anthropoiden (Gorilla, Orang-Utan, Schimpanse, Gibbon) außerdem bestimmte Ähnlichkeiten bestehen, so daß man etwa gleichzeitig an mehreren Stellen sich die Spaltung je eines Zweiges jener Herrentiere in die Menschen- und Affenlinie erfolgt denken könnte, wie das analog auch in vielen anderen Fällen anzunehmen ist. Klaatsch[146], der diese Parallelen besonders für Gorilla und Neandertaler, Aurignacmensch und Oran-Utan durchzuführen versucht hat, kombiniert damit zugleich die Annahme, daß der letztere aus seiner östlichen Heimat in Europa eingedrungen sei und den Neandertaler dort teilweise vertrieben habe, eine Annahme, die auch früher schon gemacht worden ist. Ich führe diese Dinge hier nicht an, weil ich sie für bewiesen oder auch nur sehr wahrscheinlich hielte, möchte vielmehr mir darüber gar kein Urteil erlauben. Trotzdem halte ich sie für eins der wertvollsten Ergebnisse moderner Forschung und zwar deshalb, weil sie besser als allgemeine Diskussionen es je vermöchten, nämlich an einem Bei-

spiel, uns erkennen lassen, wie überhaupt an eine Ergründung aller dieser Probleme herangegangen werden kann. Sie zeigen uns, daß es wirklich Mittel und Wege gibt, diese Fragen auf Grund sorgfältigster vergleichender Analysen anzupacken — und das gibt uns den Mut, weiter zu hoffen und weiter zu arbeiten.

Der Vollständigkeit halber sei nun endlich noch das Wenige angeführt, was über die Frage der weiter zurückliegenden Ahnen des Menschen gesagt werden kann. Unser wirkliches Wissen davon läßt sich freilich bis heute in den einen Satz: Wir wissen nichts — zusammenfassen. Es kann uns nichts helfen, wenn wir darüber uns selbst oder anderen blauen Dunst vormachen. Von den ungezählten Hypothesen, die es bei dieser Sachlage unvermeidlich gibt, sei hier die neuerdings ebenfalls von Klaatsch wieder aufgenommene, früher schon von Snell u. a. ausgesprochene Chirotherien-Hypothese erwähnt. Man findet in den älteren (paläozoischen und mesozoischen) Schichten eigenartige fünfzehige Fährten eines größeren Landwirbeltieres, das man, da man sonst von ihm bisher nichts Näheres weiß, wegen der Ähnlichkeit dieser Abdrücke mit menschlichen Händen Chirotherium (Handtier) nannte. Nach den genannten Forschern könnte man nun annehmen, daß diese Chirotherien vielleicht die Ahnen jener tertiären Primaten wären, die uns die Eolithe vorläufig als einziges Zeichen ihrer Existenz (?) hinterlassen haben. Andererseits hat Steinmann, der überhaupt für eine sehr frühzeitige Gabelung aller heutigen Tierstämme eintritt, in gewissen, besonders hochschädeligen „Metareptilien" der Perm-Trias-Zeit schon die Ahnen der heutigen Primaten aufweisen zu können geglaubt[149]. Es ist zu verstehen, wenn empiristisch gesinnte Naturforscher und dazu so manche andere, die an dem Bestehenbleiben eines „Geheimnisses" in dieser Frage interessiert zu sein glauben, über derartige Vermutungen spotten, wenn es auch ungerecht ist, so lange die Autoren der betreffenden Hypothesen selber sich darüber klar sind, daß es eben vorläufig nichts als unbewiesene geistreiche Einfälle sind.

Es fragt sich nunmehr, ob sich aus diesem ganzen bisher noch so lückenhaften Bilde, das uns die moderne Anthropologie entwerfen kann, schon irgendwelche Schlüsse von allgemeiner philosophischer Bedeutung ziehen lassen. Klar ist zunächst, daß aller Dogmatismus in diesem Hypothesengewirre vom Übel ist, und daß es für jeden vorurteilslosen Beurteiler vorläufig nur immer wieder heißt: Abwarten und nachprüfen. Man hat das

wohl (vgl. S. 351) zeitweise nicht genug bedacht. „Die Autoren der Deszendenzlehre“, sagt Kohlbrugge[150] mit Recht, haben geglaubt, mit Siebenmeilenstiefeln einen Weg zurücklegen zu können, der wohl noch Jahrhunderte eifrigsten Forschens bedarf.“ Es ist durchaus verwerflich, wenn dem Publikum diese Unvollkommenheit aller bisherigen Forschungen vielfach nicht nur nicht klargemacht, sondern im Gegenteil fast geflissentlich die Illusion beigebracht ist, als hätten wir eigentlich alles Wesentliche schon ergründet. Es ist aber ebenso durchaus ungerechtfertigt, wenn man diese Unvollkommenheiten und der Kritik Angriffsflächen bietenden Stellen benutzt, um die ganze Forschung zu diskreditieren und als ein Sammelsurium willkürlicher Hypothesen hinzustellen, die völlig in der Luft schwebten, und womöglich nur antireligiösen oder atheistischen Tendenzen ihrer Urheber entsprängen. So steht die Sache denn doch nicht mehr, daß noch heute jede beliebige willkürliche, vermeintlich religiösen Interessen dienliche Konstruktion einer Urgeschichte der Menschheit mit der wissenschaftlichen Wahrheit in Einklang zu bringen wäre. Es ist nur ganz außerordentlich schwierig, hierbei das Sichere von dem Wahrscheinlichen, das Wahrscheinliche von dem Vermuteten und das Vermutete von dem ganz Unbestimmten zu trennen, und dementsprechend hält es auch stets außerordentlich schwer, jemanden, der sich auf eine bestimmte Konstruktion des Bildes vom Anfange der Menschheit versteift, von der Unzulässigkeit oder doch Willkürlichkeit seiner Behauptungen zu überführen.

Auf die Gefahr hin, daß es vielen meiner Leser scheinen wird, als ob ich offene Türen einrenne, muß ich zunächst auf diesen Punkt hier noch etwas näher eingehen.

Es wurde schon oben erwähnt, daß eine wissenschaftliche Betrachtungsweise solange überhaupt gar nicht erst in Frage kommen konnte, als man sich begnügte mit dem, was in den Berichten der Genesis über den Uranfang der Welt und des Menschen vorlag. Eine Revision dieses einfachen harmlosen Hinnehmens der Überlieferung wird noch heute sehr vielen erst dann zu einer Notwendigkeit, oft einer mit schweren inneren Kämpfen bezahlten Notwendigkeit, wenn eine bestimmte Stelle dieses ganzen Gebäudes wenigstens sich als unrettbar morsch und reparaturbedürftig erweist. Bei der Unsicherheit, insbesondere den deszendenztheoretischen und anthropologischen Einzelheiten, ist es nun gar nicht so einfach, wie man meist glaubt,

eine solche Stelle wirklich anzugeben, wo eine unabweisbare Notwendigkeit zur Korrektur an der Überlieferung vorliegt, mit anderen Worten, wo zwischen dieser und den Ergebnissen der modernen Wissenschaft wirklich ein glatter Widerspruch besteht. Es gibt aber doch solche Stellen, und zwar ist das mindestens die eine: Die Frage nach dem Alter der Menschheit. In der Frage nach dem Alter der Erde entgeht man dem Widerspruch zwischen Gen. I und moderner Geologie bekanntlich durch die Deutung des hebräischen Wortes jom (Tag) als „Periode, Epoche" — ob das der Autor gemeint hat, sei dahingestellt. Die ins einzelne gehenden Angaben der Bibel aber (Gen. und Chron. sowie Luk. 3) über die Alter der Patriarchen und die Lebensalter, in denen sie „Söhne zeugten" ergeben bekanntlich für den Zeitpunkt der „Erschaffung Adams" rund 6000 Jahre vor der Gegenwart. Wenn auch ein Spielraum von einigen 60—100 Jahren dabei möglich ist, so ist doch an diesem Ergebnis nichts wegzudeuteln möglich. Dies aber steht in einem unvereinbaren glatten Gegensatz zur modernen Forschung. Denn, daß seit dem Ende der Diluvialzeit allermindestens rund 10 000 Jahre, seit der Zeit, in der der homo heidelbergensis gelebt haben muß, aber allermindestens 50—100 000 Jahre verflossen sind — wahrscheinlich aber noch viel mehr, kann man nicht bezweifeln, ohne einfach die ganze Geologie und Paläontologie ad acta zu legen[151]. Dazu kommt aber, daß auch die direkte urgeschichtliche Forschung in Ägypten und Babylonien uns sogar schon über jene Grenze von 4000 v. Chr. rettungslos hinausführt. Dieser durch keine Kunst der Harmonisierung wegzudeutende glatte Widerspruch genügt vollständig, um jeden, der sich nicht entschließen will, lieber zum credo quia absurdum zu greifen, als ein Titelchen von der Überlieferung aufzugeben, davon zu überzeugen, daß die betreffenden Berichte mindestens zu einem Teile sagenhaft oder mythisch sein müssen. Die Orientalisten mögen zusehen, wie sie einen etwaigen historischen Kern oder eine astrologische oder sonstige Deutung hier herausschälen; ein Recht, diese Berichte als historisch getreue Überlieferungen anzusprechen, besteht nicht mehr. Es muß nunmehr der Kritik freie Bahn gelassen werden, und die Theologie mag dann weiter untersuchen, welche Folgen etwa das für ihren „Inspirations"-Begriff hat, und welchen Zweck es noch haben kann, in anderen Punkten des „Schöpfungsberichtes" krampfhafte Harmonisierungsversuche anzustellen, wenn es doch einmal feststeht, daß die Bibel weder als naturwissenschaftliches Lehrbuch noch als historische Urkundensammlung absolute

Zuverlässigkeit beanspruchen kann. (Wie weit ihr religiöser Wert davon überhaupt abhängig ist, sei wiederum ganz dahingestellt.)

Von der heutigen Theologie kann man im ganzen wohl sagen, daß sie sich in diese Situation im allgemeinen gefunden hat (wenn man von einzelnen unbelehrbaren Ausnahmen absieht). Trotzdem sind wir von einer ganz unbefangenen Stellung gegenüber dem Problem der Menschwerdung, das zugleich das Problem des Verhältnisses von

Natur und Kultur

ist, noch sehr weit entfernt. Theologische, philosophische und naturwissenschaftliche Gedankengänge, ja vielfach selbst soziale und politische Tendenzen sind hier zu einem fast unentwirrbaren Knäuel zusammengeballt, und es mag fast aussichtslos erscheinen, auf beschränktem Raume auch nur andeutungsweise etwas beibringen zu wollen, was einen Ausweg aus diesem Dickicht zeigen könnte. Mit den in gewissen freigeistigen Kreisen üblichen Klageliedern über Rückständigkeit und Dunkelmännertum usw. ist natürlich nichts erreicht, mit dem Abscheu vor der „gottlosen" Wissenschaft auf der anderen Seite ebensowenig. Auf diese Weise kann man wohl agitieren, aber nicht die Wahrheit suchen. Wir werden am besten tun, wenn wir von der geschichtlich älteren, der kirchlichen Dogmatik entsprechenden Anschauungsweise ausgehen. Es ist aber ein großer Irrtum, daß diese entweder rein aus willkürlichen Konstruktionen abgeleitet, sozusagen aus den Fingern gesogen, oder lediglich durch einen Buchstabenglauben an die Bibel bzw. die Tradition bedingt sei. Wer so urteilt, vergißt, daß für den Gläubigen die religiösen Erlebnisse, die er und andere Menschen gemacht haben, doch gegenwärtige Tatsachen sind, die er für genau so wirklich erklären wird, wie die Tatsache, daß seine Mutter oder Braut ihn liebt, oder daß er oder sein Kind Hunger hat usf., welche psychologischen Tatsachen man bekanntlich ebenfalls nicht sehen und greifen, sondern nur selbst fühlen bzw. dem anderen glauben kann. Es ist nun keine Frage, daß das zentrale Erlebnis des Christentums wie zu allen Zeiten, so auch heute noch die „Erlösung" ist, und zwar eine Erlösung nicht zunächst von äußeren Hemmnissen, sondern von dem inneren Hemmnis der Schuld. Daß dieses Hemmnis gerade von den Besten und Größten aller Zeiten als das schwerste aller Übel empfunden worden ist, bezeugt einhellig die Dichtung von Sophokles bis zu Schiller; es ist überflüssig, das noch näher als eine höchst reale Macht in der Mensch-

heit nachweisen zu wollen, was den Hintergrund vieler der größten weltgeschichtlichen Ereignisse und den Stoff unserer bedeutendsten Tragödien bildet. Diesen psychologischen Tatsachenkomplex wertet nun das Christentum (wenigstens alles, was sich „positiv" nennt) so hoch, daß es in ihm geradezu den Angelpunkt der ganzen Weltgeschichte sieht und von ihm aus in erster Linie auch die menschliche Natur beurteilt. Wer sich nicht klar macht, daß hierin der innerste Grund des Widerspruchs gegen die restlose Einordnung des Menschen in den allgemeinen Entwicklungsgang der Natur liegt, daß zahlreiche Vertreter der Kirche diese Einordnung somit keineswegs aus rein formalen, sondern aus sehr materialen Prinzipien heraus ablehnen, der versteht den heutigen Weltanschauungskampf niemals von Grund aus. (Damit soll natürlich nicht gesagt sein, daß nicht im einzelnen Falle auch jene formalen Gesichtspunkte mehr ausschlaggebend sein können, als diese sachlichen.)

Eine solche Lehre ist nun, sofern sie ein oberstes Weltanschauungs- und Lebensideal setzt, wie wir unten noch genauer sehen werden, überhaupt unwiderlegbar (ebenso wie unbeweisbar), weil sie eben mehr als bloße Erkenntnis enthält. Anders liegt es jedoch mit der Frage, ob auch die aus ihr im einzelnen bisher gezogenen Folgerungen, mit anderen Worten die einzelnen Lehren der „Dogmatik", unangreifbar sind. Diese Frage muß verneint werden. Jedermann muß, um überhaupt seine Ideale in eine wirkliche „Weltanschauung" umzusetzen, sich notwendig der ihm zugänglichen Erkenntnis bedienen, anders gesagt: die „Welt" als das nehmen, als was sie ihm nach dem Stande seines Wissens und des Wissens seiner Zeit erscheint. Niemand bestreitet denn auch (wenigstens innerhalb der evangelischen Kirchen) im Ernst, daß diesem Gesetz auch die kirchliche Dogmenbildung unterliegt und daß auf diesem Gebiet die Quelle des ganzen Streites zwischen „Wissen und Glauben" zu suchen ist.

Soll deshalb ein Ausweg aus solchen Konflikten gefunden werden, bei dem keine der beiden Seiten vergewaltigt wird, so ist es klar, daß dies nicht so geht wie es die Heißsporne von links her, aber auch nicht so, wie es die von rechts her wollen. Wer immer nur auf die wissenschaftliche Einsicht pocht, aber nichts zu bieten hat, was einen tiefer veranlagten Menschen auch in ethisch-religiöser Hinsicht voll befriedigt, braucht sich nicht zu wundern, wenn er schließlich alle Flachköpfe und Gleichgültigen oder gar die Schlechten und Zügellosen an sich zieht. Wer auf der anderen Seite die wissenschaftliche Erkenntnis einfach ignorieren oder sich durch sophi-

stische Verrenkungen mit ihr abfinden zu können glaubt, wird mit derselben Sicherheit alle braven Dummköpfe, aber auch alle Nörgler, Eigenbrödler und Besserwisser, dazu die unbelehrbaren Starrköpfe aller Art an die Rockschöße gehängt bekommen, von noch schlimmeren Freunden ganz zu schweigen. Die richtige Lösung kann nur eine sein: Der volle sittlich-religiöse Ernst, der in den alten Dogmen zum Ausdruck kam, muß in den Formen der neuen Erkenntnis abermals gestaltet werden.

„Hinüber retten wir in neue Zeit
Und edle Form den Hort der Frömmigkeit" (C. F. Meyer).

Um nun hier zu einem befriedigenden Ergebnis zu kommen, wollen wir alle besonderen Probleme ganz beiseite lassen und das Problem „Natur und Kultur" ganz allgemein fassen.

Das Problem ist gleichbedeutend mit dem Problem des Verhältnisses von Tier und Mensch. Der Mensch hat Selbstbewußtsein, er hat Sprache, Sitte, Recht, Sittlichkeit, Religion, Kunst, Wissenschaft und Philosophie. Er hat eine Geschichte, er hat Technik, Wirtschaft und Staatsleben. Obwohl man für fast all dieses bei den Tieren hier und da Anklänge findet, man denke an die Kunstbauten (Hochzeitslauben) der australischen Laubenvögel, an die Staaten der Ameisen u. a. m., so scheint doch nicht nur ein Stufenunterschied, sondern ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Tier und Mensch vorzuliegen. Es ist schwer, diesen Unterschied auf eine alle genannten Gebiete gleichzeitig umfassende Formel zu bringen. Am treffendsten erscheint immer noch die oft gehörte Formulierung: das Tier haftet am konkreten Einzelerlebnis, der Mensch vermag darüber hinaus sich zum allgemeinen Begriff (Gesetz und Regel) aufzuschwingen. Auch das Tier freilich assoziiert zweifelsohne viele Einzelerlebnisse zu einer allgemeinen Vorstellung (der Hund z. B. die verschiedenen Erlebnisse des Wurststehlens und Geprügeltwerdens zu einem allgemeinen: das darf ich nicht), aber es bleibt nun auch bei diesen Assoziationen wieder da stehen, wo diese ganz spezielle Veranlassung aufhört. Der fragliche Hund hat also wohl sozusagen den Begriff des verbotenen Wurstdiebstahls, aber damit nicht zugleich den des Diebstahls überhaupt, geschweige den eines Bösen und Guten überhaupt usf. Es ist natürlich leicht, Beispiele dieser Art zu häufen und an jedem die Grenze aufzuweisen, die das Tier, soweit unsere Kenntnis reicht, nicht überschreitet[182].

Von der anderen Seite her kann man dem Problem beizukommen suchen durch eine systematisch-logische Analyse dessen, was der Mensch in seiner Kultur geschaffen hat, vor allem der menschlichen Erkenntnis. Erkenntnistheorie im Sinne Kants ist bekanntlich ganz etwas anderes als Erkenntnispsychologie oder -Geschichte. Sie soll nicht untersuchen, wie in einzelnen Menschen oder der Menschheit Erkenntnis tatsächlich zustande kommt, sondern welches die letzten logischen Elemente des Erkennens sind, ähnlich wie in der Geometrie die Axiome, auf die ja in aller Vollständigkeit und Strenge auch erst die modernste Mathematik (Hilbert u. a.) uns geführt hat. In dem, was so als „a priori“ bestehend (d. h. als nicht weiter logisch zurückzuführen) sich erweist, glauben nun aber trotz der eben gezogenen scharfen Trennung zwischen Logik und Psychologie viele doch eine Garantie auch für ein zeitlich-psychologisches Apriori zu besitzen. Denn wenn die „Kategorien“ (oder in der Ethik der kategorische Imperativ usw.) logisch nicht aus einfacheren Elementen ableitbar sind, wie soll man dann sich psychologisch sie entstanden denken können? Der Mensch, so sagt man, muß dann doch diese Fähigkeiten erst haben, ehe überhaupt eine Erkenntnis usw. in menschlichem Sinne anfangen kann.

Es gibt noch vieles andere, was zur Charakterisierung des Geistigen im Menschen, im Gegensatz zu dem bloßen „Seelenleben“, das auch das Tier besitzt, angeführt werden kann, und angeführt worden ist. So hat man vielfach auf die innere Aktivität des Geistes hingewiesen, auf die Tatsache, daß das Geistige einmal vorhanden, sich aus sich selbst weitertreibt (so beispielsweise in der Mathematik), und man hat billige, aber doch im Grunde recht verschwommene Gegenüberstellungen dieser freiwilligen Steigerung mit dem Trägheitsgesetz oder dem Satz von der Energieerhaltung vorgenommen. Alles das sind aber nur Versuche, das, was jeder Nachdenkende ohne weiteres empfindet, auf eine möglichst anschauliche und greifbare Form zu bringen: Das Problem bleibt in all diesen Formen immer das gleiche: Ist überhaupt und wie ist eventl. ein zeitlich-geschichtlicher kontinuierlicher Zusammenhang zwischen diesen beiden Stufen der Welt denkbar? Es leuchtet unmittelbar ein, daß diese Frage völlig analog zu der entsprechenden Frage nach dem Verhältnis von Materie und Leben ist, die wir im dritten Kapitel behandelten.

Bei ihrer Beurteilung sollte nun meines Erachtens von allen Seiten viel mehr, als es gewöhnlich geschieht, der Ton darauf gelegt werden, daß die fraglichen zwei bzw. drei Stufen der Wirklichkeit

(Materie, Leben, Geist) *tatsächlich vorhanden sind*. Sowohl die Verfechter eines grundsätzlichen naturphilosophischen Monismus als auch seine Gegner haben dies während ihres ganzen Streites in einer unverantwortlichen Weise in den Hintergrund treten lassen, jene, indem sie die Einheit zu einer Einerleiheit machten, diese, indem sie, um der letzteren zu entgehen, die erstere bekämpften. Vielleicht trägt hieran einen nicht unbeträchtlichen Teil der Schuld das Überwiegen idealistischer bzw. phänomenalistischer Erkenntnistheorien (Neukantianismus, Positivismus). Diese Erkenntnistheorien bringen es mit sich, alle „Gegenstände höherer Ordnung" als bloß „ideale" Gebilde erscheinen zu lassen, denen keine Wirklichkeit entspricht. Ganz anders sieht jedoch die Sache vom Standpunkte des kritischen *Realismus* aus (vgl. hierzu oben S. 68, 275). Erkennen wir die Existenz der Universalia in re an, so gilt das auch von solchen Begriffen wie Individuum, Organismus, Leben, Sittlichkeit, Recht usw. Überall liegt dann die Sache so, daß nicht wir allein es sind, die der Wirklichkeit „Gesetze vorschreiben" oder ihr ein Begriffsnetz überwerfen, sondern, daß die Konstruktion dieses Netzes selbst uns von der Wirklichkeit vorgeschrieben wird. Nicht ein bloßes denkökonomisches Mittel zur Bewältigung der Erfahrungswelt ist dann unsere Zusammenfassung alles „Lebendigen" unter diesem Begriff des „Lebens", sondern dieses ist in Wirklichkeit höchst real eine ganz typische, deutlich abgehobene Gruppe, was durchaus nicht ausschließt, daß die Grenzen gegen das andere (das Unorganische) fließend sein können. In dieser Einsicht finde ich die einzige mögliche Lösung aller dieser scheinbar so schwierigen Probleme. *Wir müssen endlich lernen*, daß Gestaltung und Kontinuität keine Gegensätze, *sondern sich ergänzende Begriffe sind*. Die Welt ist vielleicht — ich will das nicht endgültig behaupten, aber es scheint so — substanziell einheitlich und kontinuierlich (abgesehen etwa von dem S. 53 Erwähnten), aber sie ist ebensogut andrerseits gestaltete, individualisierte Substanz[158]. Wenn es wahr ist, daß alle Unterschiede und Grenzen in ihr fließen, so ist es doch genau so wahr, daß aus all diesem Fließen sich keineswegs ein gestaltloser Brei, sondern eine unerhörte Fülle gestalteter Form (dies Wort nicht etwa nur räumlich genommen) ergibt. Diese Formung ist Wirklichkeit genau so gut, wie das alle Formen verbindende allgemeine Gesetz. Wir stoßen hier abermals auf das Problem der *doppelten* Kontingenz der Welt (vgl. S. 159, 184), das insbesondere die Relativitätstheorie so klar herausstellt.

Für das wissenschaftliche Erkennen ergibt sich daraus, daß es, wie in bezug auf das Lebensproblem S. 274 ausgeführt wurde, durchaus keinen Widerspruch mit einer grundsätzlichen Kontinuität bedeutet, wenn wir für ein besonderes Gebiet des Daseins, das wir der wissenschaftlichen Analyse unterziehen wollen, eigene Kategorien bilden müssen. Wir *müssen* das tun, denn ohne solche werden wir dem Gegenstande einfach nicht gerecht. Es liegt durchaus nicht an uns, sondern an der Wirklichkeit, daß wir z. B. im Biologischen mit dem, was wir in der Physik und Chemie gebrauchen, *nicht auskommen*. Es ist aber möglicherweise nur eine grobe Materialisierung dieses Sachverhalts, wenn man daraufhin die Kontinuität zwischen Anorganischem und Organischem leugnet. Alles wissenschaftliche „Begreifen" setzt notwendig gewisse Abschlüsse da, wo tatsächlich fließende Grenzen sind. Das Wunderbare ist, daß man trotzdem im großen und ganzen auf diese Weise weiterkommt. „Man darf vernachlässigen und weiß doch etwas" (vgl. S. 68). *Die Rückübertragung des begrifflichen Abschlusses aber in die Wirklichkeit führt dann jedesmal zur Vergewaltigung der Grenzfälle. Das ist der Grundfehler alles Scholastizismus*, der immer ein wirklicher ernsthafter Versuch ist, „der Natur die Gesetze vorzuschreiben", ein Versuch, der aber noch jedesmal mißlungen ist.

Machen wir die Anwendung auf unser Menschenproblem, sie liegt wohl auf der Hand. Die Anerkennung eines in *jeder* Beziehung (nicht etwa nur in körperlicher Hinsicht) kontinuierlichen Zusammenhangs mit den Tieren schließt nach dem Gesagten nicht im mindesten aus, daß wir tatsächlich heute, so wie der Mensch einmal vor uns steht, für seine Kultur *neue Kategorien* gebrauchen, *die für die Tierwelt keinen Sinn haben*. Wir *müssen* scheiden, der Mensch hebt sich so zweifellos und unverkennbar von allem Tierischen ab, daß es gänzlich zwecklos ist, darüber noch ein Wort zu verlieren. Und dieser Unterschied ist nicht etwa bloß ein Gedankending, sondern wie jeder höhere komplexe Gegenstand eine Tatsache der Wirklichkeit. *Die Welt ist so beschaffen, daß sie Menschen und Menschengeist als besondere Formen des Seins enthält;* wollen wir (was freilich streng genommen unzulässig ist, vgl. S. 174) den Zeitbegriff als metaphysisch zulässig betrachten, so können wir auch sagen: Sie ist von Anfang an so angelegt, daß sie menschliche Kultur, also Geistiges, zum mindesten auf dieser Erde hervorbringen *sollte*. Auf

welchem (zeitlichen) Wege das nun aber tatsächlich vor sich gegangen oder wenn man lieber will: ins Werk gesetzt wurde, ist dabei ganz gleichgültig. Das hat mit unserer auf den Gesamtbefund der Wirklichkeit sich aufbauenden Bewertung des Menschen als des höchsten Gliedes derselben nichts zu tun. „Der Menschheit Würde" hängt nicht an der Frage ihres Ursprungs, sondern lediglich daran, was sie ist und noch werden kann oder soll. Eine andere Frage ist, ob und wie wir uns etwa den Aufstieg auf diese neue Höhe vorstellen können. Was diese Frage anbetrifft, so dürfte klar sein, daß die entscheidende Rolle bei diesem Prozeß der Ausbildung der Sprache zufällt. Begriffliches Denken setzt eine Begriffssprache voraus oder besser: eins kann unmöglich ohne das andere existieren. Beides hat sich also gemeinsam entwickelt, wenn es nicht fix und fertig vom Himmel gefallen ist.

An dieser Stelle ergibt sich für die Verteidiger einer im Sinne zeitlichen Anfangs gemeinten Hypothese von der „Sonderschöpfung" des Menschen (sei diese auch nur in geistiger Beziehung gemeint) ein arges Dilemma. Hat der Mensch, als Gott einem dazu bestimmten Herrentiere seinen Geist in einem einmaligen „Schöpfungsakt" einhauchte, von dem Tage an gesprochen? Und welche Sprache? Vielleicht Hebräisch oder Urindogermanisch? Oder eine Ursprache, von der alle späteren abgezweigt sind? Wie verhält sich dann dazu die etwaige „Sprache" des homo heidelbergensis oder des Neandertalers? Wenn man aber — vernünftigerweise — sagt: Das sind ja unsinnige Fragen: Natürlich hat sich die Sprache allmählich entwickelt, so kommen wir um die Folgerung nicht herum, daß dann ebenso allmählich auch die Begriffe sich entwickelt haben. Was nützt es uns dann, noch darauf zu pochen, daß das beides nicht möglich gewesen sei, wenn eine besondere Anlage dazu nicht erst in den Menschen hineingelegt sei? Diese „Anlage" ist ja dann doch kein erklärendes Prinzip mehr, sondern ein bloßes Postulat auf Grund des Bestands der Kultur, der heute vorliegt, eine Projektion desselben auf die Zeit vor einer halben oder ganzen Million von Jahren. Mit demselben Recht kann man dann, wie schon auf S. 245 erwähnt, behaupten, daß alle Arten von Pflanzen und Tieren, ja alle menschliche Kultur „potentiell" bereits in den ersten einfachsten Zellen drin gesteckt hätten. Mit solchen Allgemeinheiten kommt man zu nichts. Sie sind zwar nicht falsch, aber man wird dadurch auch nicht um ein Jota klüger. Schließlich laufen sie auf die Binsenwahrheit hinaus, daß im Universum alles mit allem zusammenhängt. Was aber unsere Erkenntnis einzig und allein för-

dert, das ist die Einsicht in spezielle Zusammenhänge, bei denen eben von den übrigen, was in der Welt ist, abgesehen werden kann (vgl. Anm. 36).. Der alte Streit zwischen Evolution und Epigenese löst sich, so angesehen, in jener oben gezeichneten Doppelbetrachtung der Welt auf. Wenn wir das Problem der Menschwerdung oder allgemeiner das der Artentstehung untersuchen, so interessieren uns eben zunächst nur diejenigen Faktoren, welche — vom Standpunkt des sich entwickelnden Materials aus gesehen, als äußere Faktoren — diesen Entwicklungsvorgang beeinflussen und vorwärts treiben. Daß wir sie auch mit jenem Material wieder zu einer Einheit zusammenfassen können, ist klar. Dies tun wir, sobald wir sagen: Jenes Material war so beschaffen, daß es unter den gegebenen Umständen so und so reagieren mußte. Dann sind uns diese letzteren nur sozusagen nebensächliche Seiten des gesamten Sachverhalts. Die Frage also, ob sich der Mensch aus der Tierwelt durch diesen innewohnende „Potenzen" oder durch den Einfluß äußerer Faktoren entwickelt habe, ist ein reiner Streit um des Kaisers Bart. Beides sind lediglich verschiedene Standpunkte der Betrachtung. Wir stehen hier ganz an derselben Stelle, wo auch das oben erörterte Problem der halbierten Regenwurmseele oder das des organischen Individuums steht, sobald man die Analyse nach rückwärts weit genug fortsetzt. Wir kommen nämlich an die Stelle, wo die Grenzen sich verwischen und wo die für die Synthese des betr. Gebiets notwendigen und unumgänglichen Begriffe und Kategorien ihre Brauchbarkeit verlieren. Um noch ein Beispiel dieser Art aus dem gegenwärtig zur Erörterung stehenden Gebiet zu nennen: Wie denken sich z. B. die eifrigen Verfechter der absoluten Trennung von Mensch und Tier (insbesondere in sittlicher Hinsicht) etwa die Anwendung unserer heutigen Begriffe von Recht und Unrecht, Gut und Böse auf den Neandertaler oder den Heidelberger? Und wenn sie sagen: es sei selbstverständlich, daß bei diesen Wilden das sittliche Leben viel primitiver gewesen sei als bei uns, wie unterscheidet sich dann dieser Standpunkt noch von dem des bekämpften reinen „Evolutionismus"?

Die Haupttriebfeder zu allen derartigen immer wiederholten Versuchen, die Sonderentstehung des Menschen in irgendeiner Weise zu retten, dürfte viel weniger in rein verstandesmäßigen Überlegungen, als vielmehr in dem instinktiven Gefühl zu suchen sein, daß mit dem Aufgeben dieser Vorstellung gleichzeitig die menschlichen Kulturwerte ihrer Geltung entkleidet würden und als bloße Entwicklungsprodukte sich in dem allgemeinen Brei des Relativismus auflösten. Wenn wir mit Erörterung dieses

nun auch die Grenzen einer natur philosophischen Untersuchung vielleicht schon überschreiten, so müssen wir es doch als Abschluß unserer ganzen Betrachtung hier kurz erwähnen. Für den im vorigen vertretenen Realismus ist es selbstverständlich, daß auch jenen Gegenständen höchster Ordnung, die Kunst, Sittlichkeit, Recht, Religion ausmachen, keineswegs eine bloß ideale bzw. subjektive (beides ist nicht ganz dasselbe) Bedeutung zukommen kann. Auch sie sind in irgendeiner Weise Wirklichkeit. Allein das heißt natürlich zunächst bloß: Sie existieren (und zwar in menschlichen Kulturen) und es gibt ihnen noch keine verpflichtende, bindende Kraft. „Der Grund ist, wie Poincaré sagt[184], sozusagen grammatikalischer Natur. Die Lehrsätze der Wissenschaft sind rein aussagend und können es nur sein. Was man daraus durch Schlüsse erhält, wird stets wieder eine Aussage sein. Niemals wird man zu einem Gesetze gelangen, das lauten würde: „Tue dies! oder Tue dies nicht!" Mit anderen Worten, aus noch so vielen Seinsurteilen werden sich keine Werturteile ableiten lassen. Dies ist nur dann der Fall, wenn ein oberstes Werturteil oder mit anderen Worten ein Zweck, ein Soseinsollen als gültig angenommen wird. Wir haben somit nur folgende Wahl: Entweder wir betrachten die Werturteile aller Art lediglich als „ökonomische" Ausdrücke für die Konstatierung der Tatsache, daß dies und jenes biologisch zweckmäßig ist. Dann ist der oberste Zweck gesetzt durch den Willen des Individuums zur Selbsterhaltung bzw. zum Erringen eines möglichst großen Maßes von Genuß. Über diesen krassen Hedonismus weisen schon viele Erscheinungen der Tierwelt hinaus (Symbiose, Pflegetrieb, Kunsttrieb usw.)[185]. Oder aber wir nehmen an, daß in der Entfaltung dieser menschlichen Welt der Werte und Zwecke selbst ein Sinn und ein Zweck liegt. Mit anderen Worten, daß alles Dasein überhaupt einen letzten Sinn hat. Es ist nicht nötig, daß wir diesen in seiner Gesamtheit kennen. Es genügt die Annahme, daß es ihn gibt, und daß die menschliche Welt geistiger Werte einen Teil seiner Verwirklichung darstellt. In diesem Falle gelten die Werturteile, weil sie und soweit sie in diesen Zweck hineinpassen. Sie sind dann „wirklich" nicht nur in dem Sinne, daß sie in der Welt zweifellos vorhandene Gegenstände höherer Ordnung auf dem Gebiet der Psychologie darstellen, sondern sie sind wirklich im Sinne einer objektiv gültigen allgemeinen Zweck- und Wertsetzung. Dies schließt dann aber ihre „biologische" Bedeutung und Entwicklung nicht etwa aus, sondern vielmehr ein. Der biologische

„Zweck" ist dann selbst das Mittel zur Erzielung des ins Reich des reinen Geistes hineinragenden menschlichen Zweck- und Wertsetzens.

Fassen wir alles Gesagte zusammen: Wenn es richtig wäre, daß alle menschlichen Kulturgüter, auch die höchsten, sich durch eine „natürliche" und kontinuierliche Entwicklung aus den im Tierreich schon nachweisbaren Anlagen und Fähigkeiten gebildet hätten, *so wäre damit über ihren objektiven (metaphysischen) Wert noch gar nichts gesagt.* Es wäre nur der *Weg* aufgezeigt, auf dem sie zeitlich geschichtlich betrachtet entstanden sind. Das kann einen Verlust, einen Verzicht auf ihre objektive *Geltung* nur für denjenigen bedeuten, der sich das Göttliche, das Absolute stets *nur* als Gegensatz zur „Natur" vorstellen kann. Für ihn gilt allerdings z. B. das Sittengesetz objektiv dann nicht, wenn Gott es nicht „geoffenbart" oder mindestens dem Menschen bei seiner Erschaffung eine besondere Anlage dafür beigelegt hat. Für den jedoch, der hinter allem Geschehen, es sei ein Kathodenstrahl oder eine Beethovensche Symphonie, letzten Endes einen und denselben Weltengrund erkennt, ist es schließlich eine Frage von sekundärem Interesse, auf welche Weise dieser das eine und das andere ins Dasein gesetzt hat. Denn bei dieser Betrachtung erscheint insbesondere auch das Sittengesetz mit seinem unerbittlichen „Ihr sollt vollkommen sein" gerade deshalb als bindend und absolut verpflichtend, weil es „auf natürlichem Wege" geworden ist; es ist jeder Anlaß verschwunden, das Natürliche als minderwertig dem Geistigen gegenüberzustellen. Der sittliche Dualismus von Gut und Böse darf dann mit anderen Worten auf keinen Fall irgendwie zusammenfallend gedacht werden mit dem von Gott und Welt oder Geist und Natur. Er beginnt vielmehr erst innerhalb des Reiches der Natur einerseits und des Geistes andererseits. Das Problem wird hier, wie in eine solche von Gott als dem Träger des absolut Guten, Schönen und Vernünftigen geschaffene Welt zugleich soviel Böses, Unvernünftiges und Häßliches hineingekommen ist. Hier beim „Problem der Theodizee" tritt dann notwendig auch die Frage der *Willensfreiheit* auf (vgl. S. 185, 293). Dies ist übrigens auch der im Christentum, allen Einflüssen dualistischer Philosophie zum Trotz, immer wieder sich durchsetzende Standpunkt, wenn auch nicht zu leugnen ist, daß er nur selten konsequent festgehalten ist, vielmehr fast überall mehr oder weniger *weltverneinenden* Strömungen Konzessionen gemacht hat. Ja, man kann im Zweifel sein, welche der beiden Richtungen das größere Recht hat, sich als die ursprünglich christliche zu bezeichnen.

Im übrigen ist es keineswegs allein die christlich-religiöse Gedankenwelt, die mit ihrer Auseinandersetzung mit dem modernen Weltbilde noch keineswegs fertig geworden ist. Es ist kein Wunder, daß auf den krassen Materialismus der nunmehr zu Ende gegangenen Periode (man hat sie passend als Häckelismus bezeichnet), eine kräftige Reaktion seitens aller derer eingesetzt hat, die in irgendeiner Richtung die Selbständigkeit und den Eigenwert des geistigen Lebens gegenüber denjenigen vertreten, welche dasselbe zu einer bloßen zufälligen Begleiterscheinung rein materieller Prozesse machen wollten. Alle diese Vertreter einer „Selbständigkeit des Geistes" geraten jedoch leicht in dieselbe Gefahr, wie die Vertreter der Kirche: sie neigen dazu, einesteils aus dem selbständigen Wert des Geistigen eine Diskontinuität desselben gegenüber der übrigen Natur zu folgern, andernteils sich ein Weltbild oder eine Weltanschauung lediglich auf Grund von Tatsachen des höheren Geisteslebens der Menschheit aufzubauen, bei dem das übrige entweder zu kurz kommt oder vornehm ignoriert wird. Es dürfte aber nach dem ganzen Verlauf der geistigen Entwicklung in den letzten Jahrzehnten wohl klar sein, daß die Rolle einer solchen Philosophie ein für allemal ausgespielt ist. Ohne naturwissenschaftliche Grundlagen gibt es heute keine Philosophie mehr. Der neue Idealismus, nach dem sich alle Welt nach der langen Trockenperiode des Materialismus sehnt, wird nicht neben und trotz den realen Wissenschaften, sondern durch sie hindurch uns erwachsen. Das „Wirklichkeitsgefühl" der naturwissenschaftlichen Weltbetrachtung ist zu stark im Allgemeinbewußtsein verankert, als daß der (mit Unrecht sich darauf berufende) Naturalismus durch bloßes Pochen auf die Eigenwerte geistig-kulturellen Lebens überwunden werden könnte. Nur eine solche Weltanschauung wird dazu imstande sein, die dem berechtigten Realismus der naturwissenschaftlichen Einsicht voll gerecht wird und deshalb auch keine metaphysischen Schranken dogmatisch da aufrichtet, wo die Möglichkeit einer Kontinuität vorhanden ist. Hier liegen für die Zukunft die ernstesten Aufgaben, insbesondere auch der Jugenderziehung. Es ist ein unmöglicher Zustand, daß man zwar die Kenntnis z. B. der Geschichte für einen notwendigen Bestandteil aller höheren Bildung hält, dagegen krasseste Unwissenheit in naturwissenschaftlichen Dingen beinahe ebenso selbstverständlich entschuldigt. Es muß dann aber auch ebenso aufhören, daß man die naturwissenschaftliche Bildung lediglich unter dem Gesichtspunkt der Technik und der Verwertbarkeit im praktischen Leben betrachtet und verlangt, denn das

heißt den Vorwurf des Utilitarismus und Materialismus selber herausfordern, der aller realistischen Betrachtung und Erziehungsarbeit so leicht angehängt wird. Natur und Geist sind beide gleich wirklich und sind letztlich wohl nicht so grundverschieden, wie sie uns oft erscheinen wollen. Ihre Reiche sind es gleichermaßen wert, bewundert und durchforscht zu werden. Die Vorstellung aber, daß ihre Grenzen fließend sind, wird den nicht schrecken, der einsehen gelernt hat, daß recht wohl das, was zeitlich-geschichtlich-kausal betrachtet als das Ende erscheint, nämlich der Geist und sein Reich des Wahren, Guten und Schönen, überzeitlich-metaphysisch, „sub specie aeternitatis" angesehen, das Primäre, Ursprüngliche sein kann, das sich der Natur als Mittel zu seiner Verwirklichung bedient. In dieser Umkehrbarkeit der Weltbetrachtung des reinen Diesseitigkeitsstandpunktes (Fechner, Lotze) liegt das unveräußerliche Recht der idealistischen Weltansicht, nicht in der Aufstellung eines substanziellen Dualismus und auch nicht — wenigstens ist das die Überzeugung des Verfassers — in den mehr oder minder einleuchtenden Versuchen einer „idealistischen" Erkenntnistheorie. Eine solche leistet, wie schon S. 292 angedeutet, bestenfalls die Auflösung der „Welt" in ein System von Ideen erkennender Subjekte oder eines allgemeinen „transzendentalen Subjekts", das weder das menschliche Ich, noch der göttliche Schöpfergeist, sondern — ein philosophisches Gedankending ist, erfunden ad maiorem Kantii gloriam, wobei sich tatsächlich niemand etwas denken kann, von dem auch beileibe nicht etwa das Prädikat realer Existenz ausgesagt werden darf. Mit solchen Schemen und allgemein mit der Beschwörung „Kant contra Haeckel" wird der Materialismus meines Erachtens niemals überwunden werden. Sie prallen wirkungslos ab an der harten Tatsache, daß jedem Menschen die reale Existenz der Welt[156] ebenso unmittelbar, wenn nicht noch unmittelbarer gewiß ist, wie seine eigene. Hätte die rein idealistische Erkenntnistheorie wirklich Recht, so wäre sie eine Wahrheit, die von Anbeginn an dazu verurteilt wäre, auf den Kreis weniger auserwählter Geister beschränkt zu sein. Das ist zwar an sich kein Grund, sie für falsch zu halten, dieser Umstand kann uns aber doch wohl stutzig machen und zu der ernsten Prüfung veranlassen, ob nicht solche Gedankengänge, denen das unmittelbare Gefühl hartnäckig widerstreitet, doch auf einer falschen Grundlage oder Grundfrage beruhen. Es ist nicht Aufgabe dieses Buches, diese Frage hier ausführlich darzulegen. Wer sehen will, findet in der modernen realistischen Erkenntnistheorie von Hartmann bis E. Becher

Material genug, um mit völliger Deutlichkeit erkennen zu können, daß das Jahr 1781 schließlich auch nicht das Ende aller erkenntnistheoretischen Weisheit bezeichnet. Der Idealismus wird sich, das ist die Überzeugung des Verfassers, wieder durchsetzen, aber nicht auf Grund einer noch so scharfsinnigen Analyse des Erkenntnisvorgangs, sondern als Ergebnis einer großzügigen Synthese des Erkenntnisinhalts.

Doch vielleicht wird mancher sich ängstlich fragen, ob nicht ein solches Ausgehen von der Welt der „Wirklichkeit" stets wieder dazu verführen werde, den Geist gegenüber der Natur in die Rolle des Sekundären herabzudrücken, die Kleinheit des Menschen im Ozean der Schöpfung so stark zu betonen, daß der Glaube an die absolute Geltung der Werte des Wahren, Guten und Schönen doch wieder als lächerliche Selbstüberschätzung erscheine. Hierauf ist zunächst mit Pascals Wort zu sagen: „Der Mensch ist klein, weil er es ist, aber groß, weil er es weiß." Der Geist ist nicht nach Kubikzentimetern oder nach Lichtjahren zu bemessen. Auf der anderen Seite: Wer will im Ernste leugnen, daß das Weltall eine Fülle aller denkbaren Möglichkeiten auch für andere Entwicklungen in sich birgt, als die auf dieser kleinen Erde? Eine solche Möglichkeit zu leugnen ist allerdings heute menschlicher Hochmut — früher war es naiver Geozentrismus, ähnlich dem naiven Egozentrismus des Kindes —. Daß dies alles im letzten Grunde nur um unsertwillen da sei, daß Fixsterne und Spiralnebel gerade gut genug dazu seien, damit die Newtons und Herschels hier etwas zu tun haben, ist heute ein unmöglicher Gedanke. Wenn ein Gott, ein alles überragender Geist, hinter dieser Welt steht, dann hat er gewußt, was er damit wollte, uns aber ist es nur gegeben, den Saum seines Kleides zu erfassen oder wie Frenssen sagt, „wie Holzwürmer durch den Schemel seiner Füße zu kriechen", und auch unsere geistige Kultur ist sicherlich dann nicht das Letzte und Höchste, sondern nur ein Teil, vielleicht ein kleiner, unbedeutender Teil eines größeren Ziels, das wir nur ahnen, aber nicht schauen können. Damit wird sie aber nicht wertlos, im Gegenteil, sie gewinnt erst hierdurch ihre wahre Einordnung in ein Höheres, Allgemeineres, das ihr selber ihren Wert grundsätzlich verbürgt. Wenn in der Welt nichts umsonst ist, so ist ganz gewiß am wenigsten das umsonst, was die Großen der Menschheit und in ihrem Gefolge die Tausende und Millionen in langem, mühevollem Aufstieg errungen haben. Aber hier hört die Naturphilosophie, die Philosophie überhaupt auf, und wir treten in ein anderes Gebiet, das der Religion über.

Das periodische System der Elemente.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	(O)
1 H 1,008								2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,1	5 B 11,0	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,0		10 Ne 20,2
11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46		18 A 39,88
19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 44,1	22 Ti 48,1	23 V 51,0	24 Cr 52,0	25 Mn 54,93	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,84 58,97 58,68	
29 Cu 63,57	30 Zn 65,37	31 Ga 69,9	32 Ge 72,5	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92		36 Kr 82,92
37 Rb 85,45	38 Sr 87,83	39 Y 88,7	40 Zr 90,6	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43 —	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7	
47 Ag 107,88	48 Cd 112,40	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 120,2	52 Te 127,5	53 J 126,92		54 X 130,2
55 Cs 135,81	56 Ba 137,37	Seltene Erden (57—72)		73 Ta 181,5	74 W 184,0	75 —	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2	
79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,0	82 Pb 207,20	83 Bi 208,0	84 Po (210,0)	85 —		86 Em (222,0)
87 —	88 Ra 226,0	89 Ac (227)	90 Th 232,15	91 Pa (230)	92 U 238,2			

Seltene Erden (57—72): La, Ce, Pr, Nd, (61), Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu I, Ad, Lu, Tu II?

Die Zahl vor dem Zeichen des Elements bedeutet die „Ordnungszahl", die Zahl darunter das Atomgewicht (letzteres ohne Rücksicht auf die Isotopie). Die römische Ziffer oben die Kolonnennummer (zugleich die normale Wertigkeit).

Die in den Kolonnen untereinander gerückten Elemente zeigen eine besonders weitgehende Ähnlichkeit.

Anmerkungen.

Anm. 1, S. 1. Vgl. C. Baeumker, Das Problem der Materie in der griechischen Philosophie.

Anm. 2, S. 2. Die exakte Definition eines Stoffindividuums ist nur auf Grund thermodynamischer Gesetze möglich, die vor allem von W. Gibbs erforscht sind.

Anm. 3, S. 4. Die praktisch wichtigsten Elemente sind: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Silicium, Eisen, Magnesium, Calcium, Kalium, Natrium, Chlor (diese sämtlich auch als Bestandteile organischer Verbindungen), Aluminium, Kupfer, Zink, Zinn, Blei, Nickel, Quecksilber, die Edelmetalle Gold, Silber, Platin, ferner noch Chrom, Mangan, Kobalt, Arsen, Antimon, Wismut, Jod, Brom, Fluor, Bor, allenfalls noch Barium, Strontium, Radium, Uran, Thorium, Cerium, Wolfram, Osmium, Iridium, Zirkonium, Helium und Neon.

Anm. 4, S. 6. Diese Definition des Begriffs Element ist zum ersten Male in aller Schärfe von dem hervorragenden englischen Physiker und Chemiker Robert Boyle (1627—1691) aufgestellt. — Die genauere, dem heutigen Stand entsprechende Definition s. S. 118, Anm. 52.

Anm. 5, S. 7. Zur „Geschichte der Atomistik" vgl. K. Lasswitz' so betiteltes Werk, F. A. Langes „Gesch. des Materialismus" und die bekannteren Darstellungen der Geschichte der Physik und Chemie. Die neuere Entwicklung der chemischen Atomistik in Hinrichsen „Chem. Atomistik" (Leipzig, Teubner), V. Meyer, „Theorien der modernen Chemie". Die neueste Entwicklung in W. Mecklenburg „Die experimentellen Grundlagen der Atomistik" (Jena, Fischer, 1910), O. Lehmann, „Beweise für die Existenz der Moleküle" (Karlsruhe, Braun), J. Perrin, „Die Atome" (Dresden, Steinkopf), Th. Svedberg, „Die Existenz der Moleküle", derselbe „Die Materie" (Leipzig, Akt.-Verl. Ges.), Sommerfeld, „Atombau und Spektrallinien", 2. Aufl. (Braunschweig, Vieweg, 1920). Kürzere gemeinverständliche Darstellung der neuesten Entwicklung in des Verfassers „Grundriß der neueren Atomistik" (Leipzig, Hirzel, 1921), ferner bei A. Haas, „Das Naturbild der neuen Physik" (Berlin, W. de Gruyter, 1920). K. Fajans, „Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen" (Braunschweig, Vieweg 1920); L. Graetz, „Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung"; Stock, „Ultrastrukturchemie" (Berlin, Springer 1920); E. Lecher, „Physikalische Weltbilder" (Leipzig, Thomas 1912); G. Mie, Moleküle und Atome, Weltäther und Materie

(Aus Natur u. Geisteswelt, Leipzig 1919); F. Auerbach, Das Wesen der Materie (Leipzig 1918).

Anm. 6, S. 9. Man findet die Darlegung in jedem Lehrbuch der allgemeinen oder der anorganischen Chemie. Zur Einführung sei auf die beiden Bändchen des Verfassers in der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" verwiesen.

Anm. 7, S. 11. Zur Einführung in die organische Chemie vgl. des Verfassers Bändchen „Aus Natur und Geisteswelt" (Leipzig, Teubner, 1918).

Anm. 8, S. 17. Am „vernichtendsten" ist die Kritik von Stallo („Die Begriffe und Theorien der modernen Physik", übersetzt von Kleinpeter Leipzig, Barth 1901), ausgefallen, die an der ganzen Atomistik kaum ein gutes Haar läßt. Weitere Belege für das im Text Gesagte, z. B. in Ostwalds Grundriß der allg. Chemie, 2. Aufl., 1890, S. 3—6 („Welches die wirkliche Beschaffenheit der Materie ist, bleibt uns ebenso unbekannt, wie — gleichgültig"). Machs Mechanik, 4. Aufl., 1901, S. 521 („Atome können wir nirgends wahrnehmen, sie sind wie alle Substanzen Gedankendinge. . . . Mögen die Atomtheorien immerhin geeignet sein, eine Reihe von Tatsachen darzustellen, die Naturforscher, welche Newtons Regeln des Philosophierens sich zu Herzen genommen haben, werden diese Theorien nur als provisorische Hilfsmittel gelten lassen und einen Ersatz durch eine natürlichere Anschauung anstreben"). Der im Text erwähnte Versuch von Wald, das Gesetz der multiplen Proportionen ohne Zuhilfenahme der Atomistik rein auf energetischem Wege abzuleiten, findet sich im 2. Band von Ostwalds „Annalen der Naturphilosophie". Boltzmanns vergebliche Proteste s. z. B. Wied, Ann. 60, 231, 1897.

Anm. 9, S. 17. Vgl. Mie, Anm. 5; für das Folgende die eben dort zitierten neueren Werke.

Anm. 10, S. 23. Die Werte größtenteils nach Dorn, Experimentelle Atomistik im Band „Physik" der „Kultur der Gegenwart" (Leipzig, Teubner, 1915). Vgl. auch Hillers „Neubestimmungen der Loschmidtschen Zahl" (Progr. des Realg. des Joh., Hamburg 1910).

Anm. 11, S. 29. Neben den in Anm. 8 genannten Autoren, deren Wortführer E. Mach ist, seien z. B. genannt Nernst, Riecke, Drude (insbesondere des letzteren Leipziger Antrittsvorlesung über die „Theorie in der Physik"), neuerdings noch Grimsehl (im Schlußwort seines Lehrbuchs). — Auch Dorn zitiert in dem in Anm. 10 genannten Artikel die Hertzsche Auffassung ohne Widerspruch (S. 224), obwohl dieser Artikel selbst von Anfang bis zu Ende diese Auffassung ad absurdum führt. Noch eigenartiger ist der Weg, den O. Lehmann, der bekannte Entdecker der flüssigen Kristalle, gehen zu müssen meint. (In Vaihingers Ann. d. Phil., Bd. I, „Das Als ob in der Molekularphysik".) Nachdem er ausführlich dargelegt hat, aus wie vielen und welchen Gründen die reale Existenz der Moleküle und Atome eine durchaus unumgängliche Folgerung sei (er sagt geradezu, wir seien zu dieser Aussage gezwungen, die Beobachtungen schlössen jede andere Deutung aus), kommt er am Schluß plötzlich auf — die Biologie zu sprechen und findet, daß hier mit der Atomistik die Erscheinungen nicht erklärbar seien. Statt aber nun daraus den einzig möglichen Schluß zu ziehen,

daß das eben an dem Verhältnis von Physik und Biologie überhaupt liegt (wenn der Vitalismus Recht hat), findet er als möglichen Ausweg die „Als ob"-Betrachtung in der Molekularphysik, also eben das, wogegen seine ganze erste Darlegung ein einziger Protest ist.

Anm. 12, S. 30. Als Belege greife ich willkürlich heraus, was mir gerade zur Hand ist. Das Zitat im Text stammt aus Haas' neuem „Lehrbuch der theor. Physik" (Bd. I, Veit & Cie., Leipzig 1919, S. 5). W. Voigt bespricht in seinem tiefgründigen Schlußartikel des Physikbandes der „Kultur der Gegenwart" die „phänomenologische und atomistische Betrachtungsweise" und sagt dabei (S. 717): „Erweisen sich die auf solchem (hypothetischen) Wege für die sichtbaren Vorgänge gewonnenen Gesetze als im Einklang mit der Erfahrung, so ist dadurch die Zulässigkeit der Grundvorstellung erwiesen. Lassen sich die Gesetze für verschiedene Erscheinungsgebiete aus derselben Vorstellung ableiten, so wird man derselben sogar Wahrscheinlichkeit beilegen dürfen. Derartige Theorien eröffnen also die Möglichkeit . . . , einen Einblick in eine unseren Sinnen nicht direkt zugängliche Welt zu eröffnen . . . " Obwohl es nachher (S. 722) heißt, daß „die molekulare Konstitution wie die Materie, so auch der Elektrizität als erwiesen gelten muß", findet sich trotzdem nirgends der Gedanke, daß dies nun doch eigentlich wichtiger war, als alles, was man heuristisch und denkökonomisch mit der Atomistik anfangen kann. — Nernst dagegen meint zwar in der neusten Auflage seiner theoret. Chemie, man müsse wohl zugestehen, daß die Atomistik ihren hypothetischen Charakter zu verlieren beginne (S. 211) bzw. desselben „entkleidet sei" (S. 468), schreibt aber trotzdem in der Einleitung nach wie vor mit Bezug auf Hypothesen im allgemeinen und die Atomistik im besonderen: „Der Erfolg (die Entdeckung neuer Gesetzmäßigkeiten) beweist zwar durchaus nicht die Richtigkeit, wohl aber die Brauchbarkeit der Hypothese . . . keineswegs ist sie Selbstzweck (wenigstens nicht für den der exakten Naturwissenschaft Beflissenen), sondern . . . " (nur heuristisch und denkökonomisch brauchbar). — Vorangegangen mit der, wenn auch bedingten Anerkennung eines realen Wertes der Hypothesen sind Volkmann („Erkenntnistheor. Grundzüge der Naturw." und „Einf. in das Studium der theor. Physik" sowie Höfler und Poske (Zeitschr. phys.-chem. Naturw., 1912, Heft 1), später Planck (siehe Lit.-Verz.). Unter den Philosophen ist vor allem E. Becher zu nennen (siehe Lit.-Verz.).

Anm. 13, S. 30. Besonders bei Stallo, aber auch Mach ist nicht frei davon.

Anm. 14, S. 31. Man vgl. dazu E. Becher u. Külpe (Lit.-Verz.).

Anm. 15, S. 31. Wer ein richtiges Verständnis der modernen erkenntnistheoretischen Bestrebungen in der Physik gewinnen will, sollte von den Hauptwerken Machs wenigstens die Mechanik und die Analyse der Empfindungen lesen. Doch enthalten auch die anderen (Wärmelehre, Erhaltung der Arbeit u. a.) noch viel charakteristische Einzelheiten. Zu den im Texte angeführten Zitaten vgl. Mech., S. 512, 542 ff., W. L., S. 423, 424, 431. Über die Atomistik z. B. W. L., S. 429/30.

Anm. 16, S. 34. Über die verschiedenen Gewißheitsstufen vgl. R. Richter, Der Skeptizismus und seine Überwindung, sowie vor allem A. Meinongs Schriften.

Anm. 17, S. 38. Das 2. Keplersche Gesetz, der Flächensatz, spricht eine Eigentümlichkeit jeder Zentralbewegung aus, und ist äquivalent der Annahme einer Zentralbeschleunigung überhaupt. In welcher Abhängigkeit nun diese von der relativen Lage beider Körper steht $\left(\sim \frac{1}{r^2}\right)$, das ergeben das erste und dritte Gesetz. Das letztere gilt übrigens nur als erste Näherung bei einer elliptischen Bahn, streng nur bei kreisförmiger Bahn.

Anm. 18, S. 39. Vgl. dazu z. B. Grimsehls oder Höflers Lehrbuch der Physik oder Rieckes oder Chwolsons Experimentalphysik. Die „Gravitationskonstante" beträgt nach den neuesten Messungen 0,000 000 06 685, d. h. soviel $\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ beträgt die Beschleunigung, welche ein Körper von der Masse 1 g durch einen anderen ebensolchen Körper in der Entfernung 1 cm erfährt. Die Kraft, mit der zwei Kilogrammstücke in der Entfernung 10 cm einander anziehen, ist danach ungefähr so groß, wie das Gewicht, d. i. die Anziehungskraft der Erde auf einen Körper von 0,0007 mg.

Anm. 19, S. 42. Über den wahren Sinn von Newtons Wort vgl. auch Verweyen, Phil. d. M., S. 9.

Anm. 20, S. 42. Quantitas materiae (d. i. die Masse) est mensura eiusdem, orta ex illius densitate et magnitudine coniunctim. Daß die densitas (Dichte) nur als Quotient aus Masse und Volumen (magnitudo) ihrerseits definiert werden kann, ist dabei übersehen. Vgl. dazu aber Volkmann (s. Anm. 2).

Anm. 21, S. 43. Die Literatur darüber ist unübersehbar. Genannt seien z. B. Sigwarts und Wundts Logik, Liebmanns Analysis der Wirklichkeit, Cohens Logik des reinen Erkennens, Bechers und Dinglers Naturphilosophie, König, Die Entwicklung des Kausalproblems, Verworn, Über kausale und konditionale Weltanschauung, Cornelius, Einl. in die Phil., Kleinpeter, Der Phänomenalismus.

Anm. 22, S. 47. Über diese Frage vgl. z. B. auch M. Schlick, Naturphil. Betrachtungen über das Kausalprinzip (Die Naturwissenschaften, 1920, Heft 24, S. 461).

Anm. 23, S. 49. Zu dieser Frage, über die jüngst eine auch in erkenntnistheoretischer Hinsicht beachtenswerte Diskussion zwischen den Herren Volkmann, Poske und Höfler stattgefunden hat, vgl. des Verfassers Aufsatz „Formalistisches und realistisches Definitionsverfahren in der Physik" in der Zeitschr. für phys.-chem. Unterr., Bd. XXXI, Heft 5, S. 161.

Anm. 24, S. 50. Hierüber s. z. B. Cornelius, Einl. in die Phil.

Anm. 25, S. 53. Vgl. dazu K. Geißler, „Die Grundzüge und das Wesen des Unendlichen in der Mathematik usw." (Leipzig, Teubner 1902). Die hiermit aufs engste zusammenhängenden Fragen nach dem Verhältnis der logisch scharfen Begriffe und Definitionen der Mathematik zu den unscharfen physikalischen „Größen" sind Gegenstand sehr vielfacher Erörterung seitens der bedeutendsten

Mathematiker und theoretischen Physiker gewesen (z. B. Helmholtz, Poincaré, F. Klein, Boltzmann, Picard, Loschmidt usw.). Besonders hervorgehoben zu werden verdienen F. Kleins Darlegungen in seinen „Vorlesungen über Differentialgeometrie" (Leipzig, Teubner). Während der Korrektur kommt mir eine neue Schrift von E. Gehrcke, „Physik und Erkenntnistheorie" (Leipzig, Teubner, 1921) in die Hände, die viel anregende Bemerkungen über diesen Gegenstand enthält. Wie die meisten der angeführten und anderer Autoren stellt sich auch Gehrcke auf den Standpunkt, daß es lediglich der Gesichtspunkt der Denkökonomie ist, der uns unter den zahllosen an sich von der „Präzisionsmathematik" dargebotenen Möglichkeiten stets die einfachste zur Beschreibung des vorliegenden physikalischen Tatbestandes auswählen läßt. Mir hat dies schon, als ich zu Füßen F. Kleins jene Vorlesungen hörte, nicht eingeleuchtet. Wenn Galilei Fallversuche auf der schiefen Ebene macht, eine Tabelle der zusammengehörenden Werte von Weg und Zeit aufstellt und dabei Zahlen findet, etwa wie in folgender Tabelle (in modernen Maßen):

t =	1,	2,	3,	4,	5 Sekunden
s =	5,	20,	45,	80,	125 cm

(wobei die Zahlen natürlich alle mit „Versuchsfehlern" behaftet, also in gewissen Grenzen schwankend sind), so stellt er das Gesetz in der Form $s = \frac{1}{2} at^2$ nicht deshalb auf, weil dies die einfachste unter beliebig vielen „variierten" Funktionen ist, sondern weil ihm eine untrügliche Stimme sagt, daß gerade diese Form des Gesetzes auf inneren Gründen beruhen muß, die in der Sache selbst liegen. Niemand denkt tatsächlich beispielsweise beim Moseleyschen Gesetz (Anm. 57) daran, daß die „lineare" Beziehung zwischen Ordnungszahl und $\sqrt{1/\lambda}$ der einfachste Ausdruck der festgestellten Zahlenwerte sei, vielmehr hat jeder Physiker, er sei noch so eingefleischter Empirist, der zum ersten Male von dieser schönen Entdeckung hört, dabei das Gefühl, daß es etwas ganz besonderes bedeutet, wenn diese Zahlen dies so überaus einfache Gesetz befolgen. „Das muß einen tieferen Grund haben", das ist der erste Gedanke, der einem dabei sofort einfällt. Dieses unmittelbar sich einstellende Gefühl erklärt der positivistische Empirismus mit seiner „Denkökonomie" niemals. Nun wird man sagen: Ja, aber das lineare Gesetz ist doch tatsächlich in diesem Falle ebenso wenig genau erfüllt, wie im Falle Galileis das quadratische. Das ist richtig. Allein das beweist — vom Standpunkt der fortgeschrittenen Erkenntnis aus — nur, daß die zu dem einfachen Gesetz führenden Voraussetzungen (Fehlen des Luftwiderstandes, Konstanz der Gravitationskraft) eben nicht genau erfüllt sind, wir also nach den Ursachen für diese Abweichung zu suchen haben. Wenn die Empiristen Recht hätten, wäre alles damit erledigt, daß man für $s = \frac{1}{2} gt^2$ die verwickeltere Formel setzt, die in erster Näherung auf das alte Gesetz führt. Man verfährt in der „phänomenologischen" Physik (vgl. Anm. 12) ja tatsächlich oft so, daß man statt der einstweilen noch unbekannten „wahren" Funktion einfach eine Reihenentwicklung setzt. Aber jeder Physiker empfindet das als ein Provisorium. In Wahrheit will er jedesmal wissen, 1. warum angenähert dies oder das „einfache" Gesetz gilt und 2. woher es kommt, daß dieses doch nicht

genau gilt. Wenn es also auch mathematisch richtig ist, daß bei beliebiger Verrückung der Funktionskurve innerhalb eines ausreichend kleinen Intervalles die Beobachtungsdaten immer noch genügend genau wiedergegeben werden, so ist eben doch nur die „vernünftige" und nicht die „verrückte" Funktion das, was der weiteren Erkenntnis als Grundlage dient. Vgl. hierzu die in Anm. 36 genannten Schriften. Wir rationalisieren also allerdings, aber die Natur selbst ist rationalisierbar.

Anm. 26, S. 54. Vgl. Poskes Aufsatz in der Vierteljahrsschr. f. wiss. Phil. 1884 und die anschließende Diskussion von Mach (Mech., 4. Aufl., S. 279); Höfler (Lehrb. d. Phys.); Heymans („Die Gesetze und Elemente des wiss. Denkens").

Anm. 27, S. 54. Die Literatur über diesen Gegenstand ist heute beinahe unübersehbar. Grundlegend wichtig ist die Schrift von L. Lange, „Die geschichtl. Entwicklung des Bewegungsbegriffs" (Leipzig 1886). Eine umfassende neuere Darstellung bei Al. Müller, „Das Problem des absol. Raumes und seine Beziehung zur allg. Raumproblem" (Braunschweig 1911), woselbst auch weitere Literatur. Ferner bei Hönigswald, Naturphilosophie in den „Jahrbüchern der Phil." (Berlin 1913). Müllers Schrift ist durch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie allerdings teilweise überholt. Über diese s. u. Anm. 58.

Anm. 28, S. 58. Vgl. Volkmann, Einf. i. das Studium der theor. Physik, S. 19 (Leipzig 1900), s. a. Anm. 23.

Anm. 29, S. 59. Dies ist natürlich wieder eine „Realisierung"; vgl. im Text S. 49 u. Anm. 23.

Anm. 30, S. 60. Messungen darüber sind mit ganz außerordentlicher Genauigkeit in den letzten Jahren von Eötvös angestellt worden; vgl. darüber: „Die Naturwissenschaften", 1919, S. 327.

Anm. 31, S. 61. Über die dabei gemachten Fehler vgl. Mach, Mechanik (4. Aufl. S. 226 ff. Die Definition Newtons veranlaßt einen Zirkel, da er die Masse durch die „Dichte" definieren will, die ihrerseits aber nur als Quotient aus Masse und Volum definierbar ist, s. Anm. 20. Volkmann (Einführung, S. 72) will darüber nicht so scharf urteilen, sondern in gewissem Sinne an der Newtonschen quantitas materiae festhalten. Auch neuere Physiklehrbücher, so Müller-Pouillet-Pfaundler, pflichten dieser Auffassung mehr oder minder bei.

Anm. 32, S. 63. Ganz naiv klingt diese Auffassung z. B. auch bei Kant durch, für den der Grundsatz a priori der reinen Naturwissenschaft von der Erhaltung des Stoffes in diesem Sinne apodiktisch gewiß ist (Kritik d. r. V., Reklam, S. 174 ff.), besonders charakteristisch ist die 2 Seiten weiter erwähnte Erzählung von dem Philosophen, wo plötzlich das Gewicht als Quantum der Substanz erscheint.

Anm. 33, S. 63. Dies ist nur scheinbar eine rein nominalistische Definition. Vgl. S. 49 und Anm. 23.

Anm. 34, S. 65. Auf den berühmten Streit zwischen Leibniz und Descartes, ob $\frac{1}{2} m v^2$ oder $m v$ (die Bewegungsgröße) das Maß der „Kraft" sei, die erhalten bleibt, kann hier nicht eingegangen werden.

Anm. 35, S. 66. Vgl. hierzu die Darstellung von Schreber in der Naturw. Wochenschr. 1920, Heft 1, sowie K. Meyer, Die Entw. des Temperaturbegriffs (Braunschweig, Vieweg, 1913).

Anm. 36, S. 70. E. Zillsel, „Das Anwendungsproblem" (Leipzig, Barth, 1916, S. 103 u. 169). Eine treffliche Darlegung desselben Grundgedankens auch bei W. Köhler, „Die physischen Gestalten usw." (Braunschweig, Vieweg, 1920, S. 47ff.), ein Buch, auf das unten in anderem Zusammenhange noch einmal zurückzukommen ist. Vgl. ferner: Emil Müller, „Bedeutung u. Wert mathematischer Erkenntnisse", Wiener Akademievortrag 1917, und H. Dingler, „Die Grundlagen der Physik" (Berlin, W. de Gruyler, 1919, S. 34f.), vgl. auch Anm. 25.

Anm. 37, S. 72. Die Einführung der Bezeichnung Energie in allgemeiner Bedeutung ist auf W. Thomson und Rankine zurückzuführen. Über den Energiesatz im allgemeinen vgl. die Darstellung von Helm (Leipzig 1887 und 1888), Machs „Geschichte und Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit" (abgedruckt in den „populärwissenschaftl. Vorlesungen"), Plancks Darstellung („Wissenschaft und Hypothese", Bd. VI, Leipzig 1913), Rey, Die Theorie der Physik (Leipzig 1908), Poincaré, Wissenschaft u. Hypothese (Leipzig 1904) und Ostwalds „Naturphilosophie".

Anm. 38, S. 73, 74. Die Energetiker wollen sonst auf dem Boden der oben (S. 25ff.) dargelegten phänomenalistischen Erkenntnistheorie stehen. Ostwald selbst hat sein naturphilosophisches Hauptwerk „E. Mach gewidmet". Mit welchen Gefühlen dieser Antimetaphysiker das unbestreitbar kräftig metaphysische energetische Werk Ostwalds akzeptiert haben mag, vermag ich nicht anzugeben.

Anm. 39, S. 76. Man vgl. noch: Ed. v. Hartmanns S. 30 zitiertes Werk sowie W. v. Schnehen, „Energetische Weltanschauung".

Anm. 40, S. 78, 79. Die kinetische Gastheorie ergibt auf sehr einfache Weise z. B. die Werte der spez. Wärmen einatomiger Gase, daraus läßt sich dann wieder unmittelbar das sog. Dulong-Petitsche Gesetz für die Atomwärme fester Elemente folgern. Das letztere erweist sich freilich nur als Grenzfall für höhere Temperaturen. Das allgemeine Gesetz ist erst durch die Quantentheorie befriedigend aufgeklärt. Vgl. zum ersten des Verf. „Einf. in die allg. Chemie" (Aus Natur und Geisteswelt, 2. Aufl.), zum letzteren S. Valentiner, Anwendungen der Quantenhypothese (Braunschweig 1920).

Anm. 41, S. 81. Phys. Zeitschr. 9, 465.

Anm. 42, S. 82. Die Fassung des 2. Hauptsatzes ist keineswegs eindeutig. Es werden darunter sehr viele z. T. recht verschiedene Sätze allgemeineren und spezielleren Inhalts befaßt. Die genauere Darlegung führt hier zu weit. Vgl. auch Anm. 78 (Schnippenkötter).

Anm. 43, S. 89. Man lasse sich an diesem Satz nicht irre machen dadurch, daß doch die Wasserwellen transversale Wellen sind. Diese verlaufen nicht im Wasser, sondern auf der Oberfläche des Wassers, welche infolge der Schwerkraft das Bestreben hat, stets die horizontale ebene Form anzunehmen. Dadurch wird eine „quasialastische" Kraft vorgetäuscht, sie wird sozusagen einer ausgespannten

dünnen Gummihaut ähnlich. Ganz genau ist übrigens auch diese Auffassung noch nicht.

Anm. 44, S. 98. Schon in der älteren Lichttheorie von Fresnel u. Neumann stellt sich heraus, daß man es stets mit zwei zueinander senkrechten Vektoren zu tun hatte, von denen der eine als elsatische Verschiebung, der andere als Drillung aufgefaßt wurde. Die zwischen diesen beiden bestehende mathematische Beziehung hat dieselbe Form wie die Maxwellschen Gleichungen (S. 96). In der formalistischen Lichttheorie ließ man die Natur beider Faktoren unbestimmt.

Anm. 45, S. 106. Der wichtigste ist durch das van 't Hoffsche Gesetz gegeben. Vgl. dazu des Verf. „Einf. in die allg. Chemie" (Leipzig, Teubner). Durch neuere Theorien von A. Werner sind die Anschauungen über die Beschaffenheit der Ionen insofern etwas modifiziert, als man Grund zu der Annahme hat, daß nicht die einfachen geladenen Atome wie $\overset{+}{K}$ oder $\overset{+}{H}$, sondern „hydratisierte" Ionen gebildet werden, d. h. Komplexe aus diesen Atomen und H_2O. Doch ändert das im Prinzip nichts.

Anm. 46, S. 108. Über den Begriff und die Größe der Wertigkeit vgl. S. 11 und die Tabelle des period. Systems.

Anm. 47, S. 108. Es ist $N\varepsilon = 4{,}325$ Coul, woraus sich mit $N = 27{,}6 \cdot 10^{18}$ ergibt $\varepsilon = 0{,}156 \cdot 10^{18}$ Coul.; s. S. 23.

Anm. 48, S. 110. Hierüber s. J. J. Thomson, „Korpuskulartheorie der Materie" (Braunschweig, Vieweg, 1908), S. 11.

Anm. 49, S. 112. Nach neueren Untersuchungen von Rutherford (Referat: Die Naturwissenschaften, 1921, Heft 5 u. 6 von Smekal) gäbe es ein Isotopes (s. S. 115) des Heliums vom Atomgewicht 3, dessen Kern, von R. X_3 genannt, ebenfalls bei sog. α-Umwandlungen ausgeschleudert werden könnte.

Anm. 50, S. 112. Hierzu, wie zu dem ganzen Abschnitt vgl. die Darstellung von Fajans (Anm. 5).

Anm. 51, S. 113. Ann. d. Phys. 56, 81 (1918), Ref. z. B. „Umschau", 1918, Heft 1.

Anm. 52, S. 118. Vgl. Paneth, Naturwissenschaften, 1920, Heft 43, Swinne, Naturw., 1920, Heft 36. Smekal s. Anm. 49.

Anm. 53, S. 120. Vgl. W. Kossel, „Über die physikalische Natur der Valenzkräfte". Naturw., 1919, S. 339, 360, auch als Sonderdruck (bei Springer, Berlin) erschienen.

Anm. 54, S. 121. Genauer ist dann zu unterscheiden 1. zwischen transversaler und longotudinaler Masse, d. h. Masse bei Beschleunigung senkrecht zur ursprünglichen Bewegungsrichtung oder parallel dazu und 2: zwischen Masse in bezug auf Kraft, Bewegungsgröße oder Energie vgl. darüber z. B. Bucherers Einf. in die Elektronentheorie (Leipzig 1904).

Anm. 55, S. 125. Von diesen drei Schwingungen hat die eine die ursprüngliche, die beiden anderen je eine etwas größere oder kleinere Schwingungszahl. Bei Beobachtung in Richtung der Kraftlinien sieht man aber nur die beiden letzteren. Eine elementare Erklärung s. z. B. bei J. J. Thomson, Die Korpuskulartheorie (Anm. 48).

Anm. 56, S. 127. Das Gesetz hat die Form $S_\lambda = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$, worin $C_1 = 8\pi c h$, $c_2 = \frac{c\,h}{k}$ und $\frac{3}{2}\,k$ der aus der Loschmidtschen Zahl leicht zu berechnende Betrag ist, um den die Energie eines einatomigen (idealen) Gasmoleküls bei Temperaturerhöhung um 1° zunimmt. Näheres s. bei V a l e n t i n e r, Die Grundlagen der Quantentheorie (2. Aufl., Braunschweig, Vieweg), oder R e i c h e, Die Quantentheorie (Springer, Berlin 1921).

Anm. 57, S. 130. Durch ein Versehen ist im Text eine ausführlichere Bezugnahme auf die bedeutsamen neueren Untersuchungen über die **Röntgenstrahlen** unterblieben. Das Wichtigste soll hier kurz nachgetragen werden. Wie schon im Text S. 14 und 20/21 kurz gestreift wurde, ist die Wellennatur der Röntgenstrahlen und gleichzeitig damit auch die Gitterstruktur der Kristalle durch die berühmt gewordenen Versuche nach v. L a u e erwiesen. Man verdankt vor allem den beiden B r a g g s, sodann D e b y e und S c h e r r e r weitere Methoden, die daraufhin einerseits eine sehr exakte Trennung der Röntgenstrahlen nach ihrer Wellenlänge und eine Bestimmung der letzteren, also eine vollständige R ö n t g e n s p e k t r o s k o p i e, andererseits aber umgekehrt auch die Ermittlung der wirklichen Struktur der Kristallgitter ermöglichen. Von letzterem Punkt sei hier abgesehen, obwohl auch nach dieser Seite Ergebnisse von sehr erheblicher theoretischer Bedeutung erzielt sind. Die mit Hilfe der genannten Methoden ausgeführte S p e k t r a l a n a l y s e d e r R ö n t g e n s t r a h l e n ergab im allgemeinen folgendes: die R.-Str. entstehen dadurch, daß Kathodenstrahlen großer Geschwindigkeit auf eine „Antikathode" (meist ein Platinblech) treffen. Die Elektronen werden hier „gebremst", die dadurch entstandene Störung des elektromagnetischen Feldes pflanzt sich als Röntgenwelle in dem Raum fort. Gleichzeitig geraten jedoch die in den Atomen der Antikathode enthaltenen Elektronen in Schwingungen oder werden (nach B o h r) vielmehr aus ihren Bahnen geschleudert, in die sie dann unter Aussendung einer Strahlung zurückfallen (quantentheoretisch gestuft). So überlagert sich dem kontinuierlichen, d. h. alle möglichen Wellenlängen enthaltenden „Bremsspektrum", eine für das betr. Antikathodenmaterial charakteristische Eigenstrahlung, die sich verhältnismäßig leicht von jenem sondern läßt. Diese Eigenstrahlung bildet das sog. R ö n t g e n s p e k t r u m des betr Stoffes (z. B. Platin, Aluminium usw). Für dieses gelten nun ganz im Gegensatz zu der unermeßlichen Verwickeltheit der optischen Spektren höchst einfache Gesetze, deren Auffindung in erster Linie dem englischen Physiker M o s l e y (gefallen 1916 an den Dardanellen) zu danken ist. Es ist erstens das Röntgenspektrum einer Verbindung stets einfach die Summe der Spektren der einzelnen Atomarten. Zweitens ist das Röntgenspektrum aller Elemente höchst einfach gebaut, und es stimmt drittens bei allen Elementen völlig überein, nur daß mit steigender Ordnungszahl alle Linien sich gesetzmäßig nach der Seite der kurzeren Wellenlänge (größerer Schwingungszahl) hin verschieben. Die Röntgenspektren bestehen aus drei Gruppen von Linien, welche man das K-, L- und M-Spektrum nennt,

jedoch ist bei den niederen Elementen von Na bis zum Zn nur die K-Gruppe, bei den mittleren Zn bis Nd die K- und L-Gruppe, bei noch höheren (Zn-U) nur die letztere, und bei den höchsten (Ds-U) daneben noch die M-Gruppe bekannt. Dabei ist bei dem gleichen Element die K-Gruppe die „härteste", d. h. kurzwelligste, die M-Gruppe die langwelligste (weichste). Das K-Spektrum hat etwa 4—6, das L-Spektrum 10—14, das M-Spektrum 6 Linien. Für jede einzelne Linie ($K\alpha$, $K\beta$ usw.) gilt das Moseleysche Gesetz: Die Quadratwurzel aus der Schwingungszahl einer Linie ist für verschiedene Elemente eine lineare Funktion der Ordnungszahl des Elements. Bezeichnet man die erstere mit ν, die letztere mit Z und sind k und a Konstante, so ist demnach $\sqrt{\nu} = k\,(Z - a)$. (Für die $K\alpha$-Linie ist a ungefähr $= 1$.) Auf Grund dieses Gesetzes kann man nun zunächst sehr wichtige Aufschlüsse über das System der Elemente gewinnen. Jede Lücke in der Reihe der Elemente verrät sich nämlich sofort durch eine Unstetigkeit der hierdurch gegebenen „linearen" Anordnung der Elemente. Wir können auf Grund der Kenntnis der Röntgenspektra deshalb heute genau die noch fehlenden Elemente zwischen Wasserstoff und Uran bestimmen (oder richtiger nur zwischen Natrium und Uran, denn unterhalb des Natriums sind keine Röntgenspektra bekannt). Es fehlen zurzeit noch fünf Elemente, nämlich Nr. 43, 61, 75, 85, 87 (s. die Tabelle S. 380). Ferner aber konnte gezeigt werden, daß das Moseleysche Gesetz sich direkt auf Grund der Vorstellungen der Bohrschen Atomtheorie ergibt und es lassen sich sogar zahlreiche gesetzmäßige Beziehungen zwischen den optischen Serienspektren (s. S. 128) und den Röntgenspektren theoretisch herleiten, die dann im Experiment bestätigt werden konnten. Die überaus einfache und bei allen Elementen gleiche Beschaffenheit der Röntgenspektra erklärt sich auf Grund des Bohrschen Modells ebenfalls sehr einfach. Wir müssen nämlich annehmen, daß beim Fortschreiten in der Reihe der Elemente, d. h. bei Erhöhung der Kernladung um je 1 Einheit, womit zugleich die Elektronenzahl je um 1 wächst, diese Anlagerung der neuen Elektronen im allgemeinen außen erfolgt. Hat sich jedoch so eine gewisse Zahl von Elektronen in einem äußersten Ringe oder einer „Schale" zusammengefunden, so ist diese abgeschlossen, und die neue Anlagerung erfolgt in einer neuen Schale, während die vorige nunmehr im allgemeinen ungeändert bleibt. Die Periodenzahl 8 des Systems weist darauf hin, daß eine solche Schale im allgemeinen mit 8 Elektronen abgeschlossen wird. Die überschüssigen äußersten bilden dann die „Valenzelektronen", von denen die chemischen und optischen Eigenschaften abhängen (vgl. dazu Kossel, Anm. 53). Die Röntgenemission erfolgt dagegen von den Elektronen der inneren Schalen her. Da diese bei den aufeinanderfolgenden Elementen durchaus gleich sind, so sind auch die Spektren gleich, nur bewirkt die wachsende Kernladung größere Anziehungskraft und daher raschere Schwingungen, d. h., das Spektrum verschiebt sich nach der Seite der kürzeren Wellenlängen.

Dies die Hauptergebnisse. Näheres siehe in den in Anm. 5 genannten Darstellungen, vor allem bei Sommerfeld, ferner noch bei Born „Der Aufbau der Materie" (Berlin, Springer, 1920).

Anm. 58, S. 131. Eine auch nur annähernd vollständige Aufzählung der

Literatur über die Rel.-Th. würde ein ganzes Bändchen füllen. Wir beschränken uns auf eine kleine Auswahl mit kurzer Charakterisierung.

a) Zusammenfassende fachmännische Darstellungen.

„Das Rel.-Prinzip", Ges. Abhandlg. von Lorentz-Einstein-Minkowski (Leipzig, Teubner) enthält die klassischen Originalabhandlungen.

A. Einstein u. M. Großmann, „Entwurf einer verallgemeinerten Rel.-Th. und einer Theorie der Gravitation" (ebenda 1913). Erster, noch nicht völlig einwandfreier Entwurf der A. Rel.-Th., die endgültige Gestalt in

A. Einstein, „Die Grundlagen der allg. Rel.-Th." (Leipzig, Barth, 1916). (Weitere Abhandlungen E.'s in den Sitzungsberichten der Pr. Akad. der Wiss. Berlin. 1915. 1916, 1917.)

H. Weyl, „Raum, Zeit, Materie", (Berlin, Springer, 4. Aufl., 1921). Standwerk, in erster Linie für eingehendes Studium als Grundlage zu empfehlen. Setzt einige Vorkenntnisse in Vektoranalysis und Flächentheorie voraus.

M. v. Laue, „Das Relativitätsprinzip" (3. Aufl., Braunschweig, Vieweg, 1919). In erster Linie mathematische Formulierung der spez. Rel.-Theorie.

H. Weyl, „Gravitation u. Elektrizität", Sitzgsber. der bad. Akad., 1918, S. 465; s. auch Haas, c) Schluß.

Eine leichter verständliche Einführung bietet das größere Werk von

M. Born, „Die Rel.-Th. Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen" (Berlin, Springer, 1921).

b) Populäre Darstellungen.

A. Einstein, „Über die spez. u. allg. Rel.-Th." (Braunschweig, Vieweg, 5. Aufl., 1920). M. E. in vieler Hinsicht nicht besonders glückliche Darstellung; vor allem wegen der übermäßigen Betonung der bekannten Paradoxien (s. Text S. 135).

W. Bloch, „Einf. in die Rel.-Th." (Aus Natur und Geisteswelt, Leipzig, Teubner), leichtverständliche und klare Darstellung.

Pflüger, „Das Rel.-Prinzip" (Köln, Verlag der Köln. Zeitung). Als erste Einführung sehr brauchbar.

E. Freundlich, „Die Grundlagen der E.schen Gravitationstheorie" (Berlin, Springer, 4. Aufl., 1920). Legt besonders Wert auf das Physikalische der Allg. Rel.-Th.

M. Schlick, „Raum u. Zeit in der gegenwärtigen Physik" (ebenda, 4. Aufl., 1920). Wohl die beste und auch philosophisch am tiefsten grabende der populären Darstellungen. Besonders zu empfehlen. Ebenso

P. Kirchberger, „Was kann man ohne Mathematik von der Rel.-Th. verstehen?" (Karlsruhe, Müller, 1920).

Ganz elementar gehalten ist auch die Darstellung von

R. Lämmel, „Die Grundlagen der Rel.-Th.". Berlin, Springer, 1921.

c) Philosophisches zur Rel.-Th.

H. Reichenbach, „Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori" (Berlin, Springer, 1920). Will die zwischen Einstein und Kant bestehenden Widersprüche aufweisen.

E. Sellien, „Die erkenntnistheor. Bedeutung der Rel.-Th. (ebenda 1919) und

E. Cassirer, „Zur E.schen Rel.-Th." (Berlin, E. Cassirer, 1921) wollen umgekehrt zeigen, daß kein Widerspruch zwischen E. und Kant besteht. Dasselbe Ziel verfolgt

J. Schneider, „Das Raum-Zeit-Problem bei Kant und Einstein" (ebenda 1921). Weitere Literatur hierzu bei Sellien und Cassirer.

J. Petzoldt, „Die Stellung der Rel.-Th. in der geistigen Entw. der Menschheit", will die Rel.-Th. als Bestätigung des Machschen Positivismus erweisen.

O. Siebert, „A. Einsteins Rel.-Th. u. ihre kosmologischen und philosophischen Konsequenzen" (Langensalza, Beyer, 1921) behandelt in erster Linie die im Text, S. 179ff. angedeuteten metaphysischen Probleme.

A. Haas, „Die Axiomatik der modernen Physik" und „Die Physik als geometr. Notwendigkeit" („Die Naturwissenschaften", 1919, S. 744, 1920, S. 121). Vorzügliche Darstellungen der grundsätzlichen Vereinheitlichung der Physik durch die Rel.-Th. Siehe auch Anm. 81.

d) Gegner der Rel.-Th.

E. Wiechert, Artikel „Mechanik" in dem Bande „Physik" der „Kultur der Gegenwart" (Leipzig, Teubner, 1915). Nimmt nur Rücksicht auf die spez. Rel.-Th. Manches jetzt überholt.

Ders., „Der Äther im Weltbild der Physik" (Gött. Nachr. 1921, Sonderdruck bei Weidmann, Berlin).

Ph. Lenard, „Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation" (Leipzig, Hirzel, 2. Aufl., 1920). Hervorhebung des realistischen Elements in der Physik gegen das Überwiegen des mathematischen Formalismus.

E. Gehrcke, „Die Rel.-Th. eine wissenschaftl. Massensuggestion" (Arbeitsgem. dt. Natf., Berlin N. 113, 1920). Sehr scharfe Polemik, insbesondere gegen die A. Rel.-Th.

K. Geißler, „Gemeinverständl. Widerlegung des formalen Relativismus" (Leipzig, Hillmann, 1920). Mehr gegen den philosophischen Relativismus als gegen die physikalische Rel.-Th. gerichtet.

L. Ripke-Kühn, „Kant contra Einstein" (Erfurt, Kayser, 1920). Versuch einer Widerlegung E.s auf Grund der als richtig angenommenen Kantschen Vernunftkritik. Wendet sich insbesondere gegen die „Vermengung" von Kinematik und Mechanik.

H. Fricke, „Der Fehler in E.s Rel.-Th." u. a. Schriften (Wolfenbüttel, Heckner), will die Rel.-Th. durch einen Ausbau der Ätherhypothese umbilden, so daß sie die Paradoxien verliert.

Weiteres Material über die Fragen der exper. Bestätigung der Rel.-Th. in den letzten Jahrgängen der „Naturwissenschaften".

Anm. 59, S. 133. Als dritte Möglichkeit bleibt scheinbar zunächst die von Ritz ausgesprochene Hypothese, daß das Licht in einer wirklichen Emission besteht, bei der das emittierte Etwas die Geschwindigkeit der Lichtquelle mit annimmt. Dann erklärt sich zwar der Widerspruch zwischen dem Fizeauschen und dem Michelsonschen Versuch, aber die Erklärung anderer Erscheinungen, vor allem des Dopplereffekts, gerät in unüberwindliche Schwierigkeiten. Diese Hypothese ist deshalb heute fast allgemein aufgegeben. Trotzdem halte ich es nicht für ausgeschlossen, daß man auf ähnliche Gedanken — in modifizierter Form — vielleicht doch noch einmal zurückkommen wird, wenn es gilt, die Synthese zwischen Rel.-Th. und Quantentheorie zu finden (s. Anm. 71).

Anm. 60, S. 135. Erfolgt die Bewegung beider Systeme gegeneinander in der X-Richtung und fallen zur Zeit $t = t' = o$ die Nullpunkte zusammen, so ist das fragliche Gleichungssystem, die sog. Lorentz-Transformation, gegeben durch $y' = y$, $z' = z$, $x' = \frac{x - v\,t}{\sqrt{1-\beta^2}}$, $t = \frac{t - \beta\,x/c}{\sqrt{1-\beta^2}}$. In den letzten beiden Gleichungen stecken die bekannten Paradoxien. Bemerkt sei hier insbesondere noch ein Punkt, der in den allgemeinverständlichen Darstellungen der Rel.-Th. fast nirgendwo erwähnt wird. Auf die „Maxwell-Lorentzschen Grundgleichungen" (S. 96) angewendet, ergibt die „Lorentz-Transformation" die merkwürdige Folgerung, daß die elektrodynamischen (elektromagnetischen) und die elektrostatischen Erscheinungen sich ebenfalls nur als „Standpunktsunterschiede" herausstellen. Was für den mitbewegten, also im Vergleich zu den betrachteten elektrischen Ladungen ruhenden Beobachter ein elektrostatisches Feld ist, das erscheint dem zurückbleibenden (oder relativ gegen die Ladungen bewegten) als elektromagnetisches Feld. Die auf dem Standpunkt der Absoluttheorie und der Ätherhypothese unbegreiflich bleibende Koppelung der beiden Feldvektoren (der elektrischen und der magnetischen Kraft), erscheint hier also durch die (rein kinematische) Transformation bedingt. Magnetismus „entsteht" nicht erst durch bewegte Elektrizität, sondern Magnetismus ist (relativ zum Beobachter) bewegte Elektrizität, so könnte man das Ergebnis zwar etwas ungenau, aber anschaulich formulieren. Umgekehrt ist die sog. induzierte elektrische Spannung mit der Bewegung des Magnetfeldes identisch, die sie nach der alten Theorie „bewirkt".

Anm. 61, S. 136. Die Minkowskiwelt wird euklidisch, wenn man statt t die imaginäre Koordinate ct einführt. Dadurch werden alle Rechnungen viel übersichtlicher (vgl. Laues Darstellung, Anm. 58). S. auch Anm. 64.

Anm. 62, S. 138. Vgl. jedoch Poincaré, Wissenschaft u. Hypothese (Leipzig, Teubner, 1906), S. 37 ff. Dagegen aber Reichenbach, s. Anm. 58.

Anm. 63, S. 138. In seiner berühmten Göttinger Habilitationsschrift 1854, neu herausgeg. von H. Weyl bei Springer, Berlin 1921.

Anm. 64, S. 140. Vgl. auch Anm. 61. Die „Krümmung" bezieht sich in der spez. Rel.-Th. nur auf die Kinematik, nicht auf deren dreidimensionales Untergebiet, die Geometrie. Diese ist vielmehr in der spez. Rel.-Th. euklidisch. Das Verhältnis ist hier ähnlich, wie wenn eine krumme Fläche (z. B. der Zylinder oder der Kegel oder, was hier am besten paßt, das einschalige Hyperboloid) eine

Schar gerader Linien enthält. — Dieses alles gilt aber nach der Allg. Rel.-Th. nur als Grenzfall für Felder konstanten Gravitationspotentials. Im allgemeinen Falle eines beliebig durch Massen gegebenen Gravitationsfeldes ist die Kinematik sozusagen „mehrfach gekrümmt“, und deshalb gibt dann auch die in einem „Weltpunkte“ vorgenommene „Spaltung in Zeit und Raum“ für letzteren ein nichteuklidisches Gesetz.

Anm. 65, S. 143. Die wichtigsten sind der „Dopplereffekt“, die „Aberration“ des Fixsternlichts und der Fizeausche „Mitführungsversuch“. Besonders der zwischen dem letzteren und dem Michelsonversuch bestehende anscheinende Widerspruch illustriert deutlich die Zwangslage, in der sich die Physik vor Einstein befand. S. auch Anm. 60.

Anm. 66, S. 144. (Vgl. Sommerfeld, „Atombau und Spektrallinien“, Braunschweig, Vieweg, 2. Aufl., 1920, S. 367 ff.)

Anm. 67, S. 145. Nach Seeliger ist die Erscheinung durch die Annahme eines Ringes von kosmischem Staub zu erklären, auf den auch das Zodiakallicht zurückzuführen ist. Schon vor Einstein haben Gerber und Ritz auf andere Weise die Perihelbewegung abzuleiten versucht. Vgl. hierzu aber z. B. v. Laue, „Die Naturwissenschaften“, 1920, Nr. 37.

Anm. 68, S. 146. Nach neueren Untersuchungen von Emden käme gewöhnliche Strahlenbrechung nicht in Frage, wohl aber kann eventuell eine von Courvoisier entdeckte allgemeine „kosmische Refraktion“ in Betracht kommen. Die Frage ist noch nicht entschieden. (Vgl. die Naturw. 1921, 6; Naturw. Wochschr. 1920, 48.)

Anm. 69, S. 146. Die diesbezügl. Ergebnisse von Freundlich, Grebe und Bachem (Zeitschr. f. Phys., Bd. 1, S. 51) sind noch nicht allgemein anerkannt. (Vgl. „Die Naturwissenschaften“, 1919, S. 629.)

Anm. 70, S. 147. Vgl. Born, „Der Aufbau der Materie“ (Berlin, Springer, 1920).

Anm. 71, S. 148. Siehe Anm. 58.

Anm. 72, S. 148. Siehe Lenard, Anm. 58. An dieser Stelle sei eine mir erst während der Korrektur zu Gesicht gekommene Arbeit von O. Wiener erwähnt, „Über ein neues Grundgesetz der Natur“ (Leipzig, Teubner, 1921, Abh. der sächs. Akad. 38, 4), die in anscheinend recht glücklicher Weise die Relativtheorie als eine (integrale) Folgerung aus einer absoluten Ätherströmungstheorie herzuleiten versucht. Der hier von W. beschrittene Weg könnte möglicherweise zu der im Text angedeuteten letzten Synthese führen.

Anm. 73, S. 151. „Über die Radioaktivität aller Elemente“ vgl. Naturw. Wochenschr. 1921, 9.

Anm. 74, S. 156. Der Vortrag Chwolsons ist bei Engelmann erschienen und im wesentlichen auch abgedruckt in der Zeitschrift „Unsere Welt“ des Keplerbundes (Febr. 1911).

Anm. 75, S. 160. Es wird bei Mach allerdings keineswegs ganz klar, ob eigentlich die Elemente selbst oder die „Beziehungen“ (in Funktionsgleichungen ausgedrückt) das letzte Reale sind (s. Text, S. 286, Anm. 114).

Teil II.

Anm. 76, S. 161. Diese Bezeichnung nach Husserl, Logische Untersuchungen I. Man spricht sonst meist von reinen und angewandten Wissenschaften.

Anm. 77, S. 162. Die Frage, ob das physikalische Geschehen streng deterministisch ist, läuft darauf hinaus, ob die Funktionen, welche die Naturgesetze ausdrücken (mögen dies nun letzten Endes mechanische oder elektromagnetische Gesetze sein), gewisse Eigenschaften haben, vor allem, ob sie nach der Zeit differenzierbar sind, genauer, ob sie „analytische" Funktionen sind. Vgl. hierzu F. Klein, Vorlesungen über Differenzial-Geometrie (Teubner 1907).

Anm. 78, S. 168, 178. Für eine gründliche Auseinandersetzung mit dieser ganzen Frage ist in erster Linie hinzuweisen auf die trefflichen Ausführungen Schnippenkötters in seiner vor kurzem erschienenen Schrift: „Der entropologische Gottesbeweis, die Geschichte einer apologetischen Irrung" (Bonn, Marcus und Weber, 1920). Von demselben Autor erscheint demnächst eine Darstellung der physikalischen Grundlagen, also des Entropiegesetzes selbst, in seinen sämtlichen Formen und Ausläufern. Bei Schn. auch die gesamte Literatur.

Anm. 79, S. 169. Ed. v. Hartmann, Weltanschauung d. mod. Physik, S. 30ff.

Anm. 80, S. 179. Weyl, „Raum, Zeit, Materie", S. 222. Andererseits ist eine „leere Welt" (ohne Materie) danach unmöglich.

Anm. 81, S. 180. Vgl. z. B. Rülf, Umschau, 1921, Heft 6; Gumbel, Naturw. Wochenschr., 1921, 6. Die Arbeiten von Einstein und de Sitter selbst, Sitzungsberichte der Preuß. Akad., 1917, 6, und Amsterdam, Proc., 1917, Bd. 19, S. 527.

Anm. 82, S. 180. Weyl, S. 220.

Anm. 83, S. 181. Vgl. hierzu besonders M. Schlick, „Naturphil. Betrachtungen über das Kausalprinzip" (Die Naturwissenschaften, 1920, S. 461).

Anm. 84, S. 182. F. Klein, Vorlesungen über diff. Geom. (Leipzig, Teubner, 1907).

Anm. 85, S. 182. Die spezielle Rel.-Th. ändert noch nichts Wesentliches, sie macht nur die Wahl der t-Achse willkürlich.

Anm. 86, S. 184. An dieser Stelle liegt m. E. der einzig mögliche Ansatzpunkt für eine erneute Diskussion des Problems der Willensfreiheit (und zwar sowohl der menschlichen als der göttlichen). In den meisten Erörterungen dieser Frage wird mehr oder minder naiv der übliche Zeitbegriff einfach vorausgesetzt. Man stellt die Frage, ob der Mensch oder Gott zu einem gegebenen Zeitpunkte das Weltgeschehen so oder so bestimmen könne. Diese Fragestellung ist schon von vornherein falsch, wenn man einmal eingesehen hat, daß die Zeit weder vom subjektiven Standpunkt aus (also erkenntnistheoretisch phänomenal genommen), noch vom objektiven Gesichtspunkt aus eine metaphysische Realität besitzt, eine solche vielmehr nur derjenigen Ordnung der Dinge zukommt, welche uns in die „zeitartige Richtung" projiziert, als Zeit, in die raumartige dagegen als Raum erscheint. Ehe das Problem daher überhaupt ernsthaft diskussionsfähig ist, muß es zunächst einmal sozusagen in die Sprache Minkowskis übersetzt werden.

Hier aber fällt es ersichtlich zusammen mit den auf S. 88, 153, 159, 181 erwähnten Problemen der Kontingenz der Welt und zugleich mit dem psychophysischen Problem (s. S. 276ff.). Daß das vielumstrittene Problem bisher eine allerseits hinreichende Lösung gefunden habe, wird kein Kundiger behaupten. Der Determinismus versagt bei der Erklärung des alle bewußten Willenshandlungen begleitenden Freiheits- oder Freiwilligkeitsgefühls, der Indeterminismus andererseits wird mit der erfahrungsmäßig bestehenden Eindeutigkeit des physikalischen Kausalzusammenhangs (s. a. S. 268 und 283) nicht fertig. Das Ganze macht entschieden den Eindruck einer in sich falschen Fragestellung. Ich getraue mich jedoch nicht, an eine Lösung des Problems hier heranzugehen.

Anm. 87, S. 187. Dingler, Grundl. der Naturphilosophie (Leipzig, Unesma, 1913).

Anm. 88, S. 189. Ein kurzer orientierender Aufsatz von Schwarzschild, „Über das System der Fixsterne" ist jüngst bei Teubner erschienen (Sonderabdruck aus „Himmel und Erde", 1909). Näheres z. B. bei Kobold, „Der Bau des Fixsternhimmels" (Braunschweig, Vieweg, 1906).

Anm. 89, S. 193. Vgl. u. a. Nölke, „Das Problem der Entwicklung unseres Planetensystems" (Berlin, Springer, 2. Aufl., 1919).

Anm. 90, S. 195. Die Naturwissenschaften, 1919, S. 668.

Anm. 91, S. 196. V. Franz im Biol. Zentralbl., 1917, 3.

Anm. 92, S. 200. Siehe hierzu W. Kodweiß in der Naturw. Wochenschr., 1919, Heft 49—50, woselbst ausführliches Lit.-Verz.

Teil III.

Anm. 93, S. 206. In neuester Zeit hat der bekannte Physiologe Abderhalden über die Frage der chemischen Möglichkeit der verschiedenen Plasmasubstanzen ausführlichere Untersuchungen angestellt. Nimmt man nach Fischer an, daß die Proteine aus Aminosäuren zusammengesetzt sind, deren man heute etwa 20 kennt, so ist die Anzahl der Möglichkeiten schon bei diesen 20 Bausteinen ganz enorm, nämlich gleich der (halben) Zahl der Variationen von 20 Elementen mit Wiederholung zur zwanzigsten Klasse ($= 20^{20} : 2$), und sie wird noch viel größer, wenn man alle die einfacheren (aus 19, 18, 17 . . . Bausteinen) mitrechnet. Dazu kommt dann noch die Möglichkeit der Mischungen in beliebigen Verhältnissen (vgl. Umschau 1913, Heft 48).

Anm. 94, S. 215. Bechhold, „Die Kolloide in Chemie, Biologie und Medizin", s. a. „Umschau", 1918, Heft 40, Die Naturwissenschaften, 1921, 6. Ausführlichere Darstellungen der Kolloidchemie von Ostwald u. a.

Anm. 95, S. 217. Die Färbemethoden sind besonders durch Ehrlichs Arbeiten zu einer großen Vollkommenheit ausgebildet worden. Es gelang Ehrlich, zu zeigen, daß die verschiedenen Bestandteile lebender Zellen vielfach eine ganz besondere Anziehungskraft für ganz bestimmte Stoffe haben, so daß diese, wenn man die ganze Zelle damit überschwemmt, in ihnen festgehalten werden, während sie bei nachherigem Ausspülen von den übrigen Teilen wieder fortgeschwemmt werden. Auch zeigt oft eine ganze Zellenart eine solche besondere Affinität zu bestimmten

Stoffen. In langen, mühsamen Versuchen, bei denen er oft hunderte von Farbstoffen und anderen Chemikalien durchprobierte, konnte Ehrlich eine Menge wichtiger Ergebnisse dieser Art feststellen. Neben den sich so ergebenden neuen Färbemethoden für die Mikroskopie ist das wichtigste Ergebnis die Feststellung, daß auch bestimmte Arzneimittel bzw. Gifte in dieser Weise an bestimmte Zellenarten gefesselt werden und unter Umständen diese töten. Auf dieser Tatsache beruht u. a. die Chemotherapie der Schlafkrankheit durch Atoxyl, der Syphilis durch Salvarsan u. a. m.

Anm. 96, S. 218. Molisch, Populäre biolog. Vorträge (Jena, Fischer, 1920).

Anm. 97, S. 223. Reinke, „Grundzüge der Biologie" (Heilbronn, Salzer, 1909), S. 44.

Anm. 98, S. 226. Siehe dar. bei Leduc, „Das Leben in seinem physikal.-chemischen Zusammenhang", übersetzt von Gradenwitz, erschienen bei Hofstetter, Halle 1912. Referat in „Himmel und Erde", 1911, S. 491.

Anm. 99, S. 229. Die Beispiele sind nicht konstruiert, sondern aus der vitalistischen Literatur entnommen. Die Angabe der Quellen unterlasse ich absichtlich, um jeden Verdacht persönlicher Polemik fernzuhalten.

Anm. 100. S. 243. Material in überreicher Fülle bietet W. Bölsches bekanntes Buch: „Liebesleben in der Natur", das jedoch in Hinsicht auf seine ganz einseitig selektionistischen Erklärungsversuche und auch wohl in mancher anderen Beziehung mehr phantasievoll als wissenschaftlich ist. Kleinere Übersichten z. B. bei B. Schmid, „Liebe und Ehe im Tierreich" (Leipzig, Thomas, 1920); R. Goldschmidt, „Die Fortpflanzung der Tiere" (Teubner, Aus Natur und Geisteswelt), u. a.

Anm. 101, S. 244. Leeuwenhoeck (der Erfinder des Mikroskops) nennt als Entdecker der Spermatozoen selbst einen Leydener Studenten. Doch hat er zweifellos das Verdienst, diese Entdeckung erst genauer verfolgt und der Allgemeinheit gesichert zu haben.

Anm. 102, S. 247. Referat über Klebs' wichtigste Ergebnisse mit Literaturangaben von H. André in Teubners „Monatsheften", Bd. X, 1917, Heft 9: („Über Vitalismus und Mechanismus als methodische Prinzipien"). Ferner z. B. Klebs, „Über das Verhältnis der Außenwelt zur Entwicklung der Pflanzen", Sitz.-Ber. der Heidelberger Akad. 1913, Nr. 5 (Heidelberg, C. Winter).

Anm. 103, S. 247. Eine hübsche Übersicht über einige besonders charakteristische Ergebnisse bei Ad. Koelsch, „Verwandlungen des Lebens" (Zürich, Rascher, 1919), ferner bei C. Thesing, „Experim. Biologie II" (Aus Natur u. Geisteswelt, Teubner).

Anm. 104, S 249. H. Petersen, Archiv f. Entw.-Mechanik, Bd. 47, Nr. 1/2.

Anm. 105, S. 251. Hier wären auch die sog. Propfbastarde und Chimären zu erwähnen (s. die in Anm. 103 genannten Schriften), d. h. Individuen, deren Körper aus zweierlei artverschiedenen Zellen gemischt ist. Nahe verwandt damit sind auch die „Xenien", eigentümliche, durch Bastardierung entstehende Bildungen, bei welchen väterliche und mütterliche Merkmale neben-

einander (getrennt) auftreten, ferner die sog. Mosaikbastarde. Vgl. die Lehrbücher der Vererbungslehre in Anm. 108.

Anm. 106, S. 256. Man vgl. hierzu die trefflichen Darstellungen des Todesproblems von Doflein, „Das Problem des Todes" usw., und Korschelt, „Lebensdauer, Altern und Tod" (beide bei Fischer, Jena).

Anm. 107, S. 257. Steinachs Abhandlung im Archiv f. Entw.-Mechanik, Bd. 46, Heft 4: „Über Verjüngung durch experimentelle Neubelebung der alternden Pubertätsdrüse" (Verlag Springer, Berlin). Neuerdings ist St. vielfach, besonders von medizinischer Seite, angegriffen. Andererseits sind seine Ergebnisse größtenteils durch W. Harms-Marburg bestätigt worden (Naturwissenschaften, 1921, 11). Die Frage ist gegenwärtig noch im Fluß.

Anm. 108, S. 262. Als ausführliche Lehrbücher der Vererbungslehre seien genannt: Goldschmidt, „Einführung in die Vererbungswissenschaft" (Leipzig, Engelmann, soeben (1921) in 3. Aufl. erschienen), und V. Haecker, „Vererbungslehre" (Braunschweig, Vieweg). Kurze Darstellung bei Lehmann, „Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre" (Aus Natur u. Geisteswelt, Leipzig, Teubner, 1913).

Anm. 109, S. 282. Zur Frage der Tierpsychologie vgl. K. L. Schneider, „Tierpsychologisches Praktikum" (Leipzig 1912), ferner z. B. B. Schmid, „Von den Aufgaben der Tierpsychologie" (Berlin, Borntraeger, 1920).

Anm. 110, S. 286. Mach trennt (An. d. E., S. 27) die Elemente etwas anders nach den verschiedenen genannten Disziplinen. Mir erscheint die hier gemachte Unterscheidung zutreffender — es kommt übrigens nicht darauf an.

Anm. 111, S. 286. An. d. E., S. 33, 35.

Anm. 112, S. 286. Hönigswald, „Zur Kritik der Machschen Philosophie" (Berlin, Schwetschke, 1908). E. Becher (vgl. Anm. 12) macht darauf aufmerksam, wie viel einfacher die „Hypothese der realen Außenwelt" ist im Vergleich zu den bloßen Elementbeziehungen der Positivisten (l. c., S. 91).

Anm. 113, S. 287. Husserl, Logische Untersuchungen, I, S. 84.

Anm. 114, S. 287. Hönigswald, l. c.

Anm. 115, S. 288. Heymanns, Einführung in die Metaphysik auf Grundlage der Erfahrung (Le., Barth, 1905).

Anm. 116, S. 289. So z. B. auch Paulsen in seiner „Einleitung in die Philosophie".

Anm. 117, S. 292. Hartmanns erkenntnistheoretisches Hauptwerk ist die „Kategorienlehre". Vortreffliche Darstellungen des Wesentlichen an der Sache sind „Das Grundproblem der Ek.-Theorie" und die „Kritische Grundlegung des transcantentalen Realismus" (beide bei Haacke, Leipzig). Man vgl. auch seine zusammenfassende Darstellung „System der Philosophie im Grundriß" (ebenda), oder die seines Schülers Drews „E. v. H.s phil. System im Grundriß" (Heidelberg 1902).

Anm. 118, S. 296. Sv. Arrhenius, „Das Werden der Welten" (Ak. Verl.-Ges., Leipzig).

Anm. 119, S. 297. Siehe Molisch (Anm. 96), S. 101.

Teil IV.

Anm. 120, S. 302. Über Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebungen siehe z. B. „Naturwissenschaften", 1921, 15. Ausführliche Darstellung von ihm selbst bei Vieweg, Braunschweig, 1920. 2. Aufl.

Anm. 121, S. 304. Auch in neuester Zeit sind noch vielfach von empiristisch eingestellten Forschern Bedenken gegen die ganze Abstammungstheorie überhaupt erhoben worden, die im wesentlichen alle auf den Einwand hinauslaufen, daß es sich um erfahrungsmäßig niemals mehr nachprüfbare Konstruktionen handele. Man vgl. z. B. Petersen in Naturwissenschaften, 1920, Heft 49, oder die in der folgenden Anm. zitierte Abhandlung.

Anm. 122, S. 305. Eins der bekanntesten Paradebeispiele der Abstammungslehre waren die Steinheimer Schnecken (Planorbis). Aber auch hier ist die einfache Stammbaumtheorie neuerdings angezweifelt (vgl. K. Rauther in der Naturw. Wochenschr., 1921, Heft 10). Es ist wohl anzunehmen, daß man mehr und mehr sich von der Vorstellung des „Stammbaums" lösen und an ihre Stelle die des „genealogischen Netzwerkes" setzen wird (vgl. darüber O. Hertwig, Werden der Organismen, Kap. 6), wobei freilich die Sache nicht so einfach durchsichtig ist, wie bei der Genealogie der Individuen. Übrigens ist die Annahme einer fortschreitenden Differenzierung und Vervollkommnung dadurch keineswegs ausgeschlossen.

Anm. 123, S. 308. Daß die betreffenden Reste noch unter Umständen als Hilfsmittel zu anderen Zwecken dienen (Fortpflanzung), beweist nichts gegen die Auffassung derselben als Rudimente.

Anm. 124, S. 316. Ich zitiere wiederum nicht aus freier Phantasie, sondern auf Grund eines populär-wissenschaftlichen, von einem Geh. Sanitätsrat geschriebenen Artikels.

Anm. 125, S. 321. Zur Geschichte der Abstammungslehre vgl. die Einleitungen zu Weismanns Vorträgen und Hertwigs „Werden der Organismen" (Lit.-Verz.).

Anm. 126, S. 323. Hierüber s. z. B. O. Hertwig, „Zur Abwehr des ethischen, sozialen und politischen Darwinismus" (Jena, Fischer, 1918), woselbst weitere Literatur (Schallmayer, Tille u. a.) angegeben ist. Hertwig wendet sich u. a. gegen jene Ultradarwinianer, die in sozialen Degenerationserscheinungen, wie z. B. dem Alkoholismus, ein nützliches Mittel zur Beseitigung der minder tauglichen Elemente und damit zur Erhaltung oder Erhöhung der Rassentüchtigkeit sehen. Einer dieser Weisen hat es sogar fertig gebracht, das berüchtigte East London als den Gesundbrunnen Englands zu bezeichnen. Mit Recht zeigt Hertwig, daß eine derartige Übertragung von Gesichtspunkten, die in der Biologie ihre Berechtigung haben mögen, auf das kulturelle Leben der Menschheit Unfug ist, weil für dieses ganz andere, neue Maßstäbe gelten (s. dar. Text, S. 275, 370). — Es muß überhaupt klargestellt werden, daß die neuerdings so vielfach beliebte Übertragung biologischer Begriffe auf das menschliche Kulturleben stets nur mit äußerster Vorsicht aufzunehmen ist. (Vgl. dazu Drexler in der Naturw. Wochenschrift, 1920, Heft 42). Dieses Verfahren oberflächlicher Analogisierung droht

sich zu einem ähnlichen Mißbrauch auszuwachsen, wie es vordem zur Zeit des krassen Materialismus auf physikalisch-mechanischem Gebiet geschah.

Anm. 127, S. 324. Siehe die in Anm. 108 genannten Werke über moderne Vererbungsforschung sowie das Lit.-Verz. Als kurze Übersicht über die botanische Seite der Frage sei empfohlen: Voß, „Moderne Pflanzenzüchtung und Darwinismus" (Naturw. Verlag, Detmold 1912).

Anm. 128, S. 325. Die Tabelle aus Voß s. vor. Anm.

Anm. 129, S. 327. Auch de Vries' Nachtkerzenmutationen sind nach dieser Richtung nicht ganz zweifelsfrei geblieben.

Anm. 130, S. 331. E. Becher, Die fremddienliche Zweckmäßigkeit der Pflanzengallen und die Hypothese eines überindividuellen Seelischen" (Leipzig, Veit u. Co., 1917). Dazu eine Diskussion zwischen ihm und Heikertinger, die auch in anderer Hinsicht sehr lehrreich ist, in den „Naturwissenschaften", 1918, Heft 16. Vgl. auch Weismanns Vorträge II, S. 238.

Anm. 131, S. 333. Vgl. seinen Artikel in „Kultur der Gegenwart".

Anm. 132, S. 334. Referate über diese Versuche von Kammerer selbst in der „Umschau", 1909, Heft 50, 1911, Heft 7, 1913, Heft 45. „Himmel u. Erde", 1911 (Juni/Juli). Zur Kritik derselben s. Naturwissenschaften, 1919, S. 981.

Anm. 133, S. 335. Ein Hauptvertreter dieses Arguments ist gegenwärtig Demoll; s. z. B. Archiv für Entw.-Mech., 1921, Bd. 47, 3.

Anm. 134, S. 335. Werden der Organismen, S. 600 ff.

Anm. 135, S. 336. Siehe die schon öfters zitierten „Vorträge".

Anm. 136, S. 337. Eine ausführliche Kritik z. B. bei Hertwig, „Werden der Organismen".

Anm. 137, S. 338. Hierüber vgl. die in Anm. 100 genannten Bücher.

Anm. 138, S. 338. Über die Frage der geschlechtsbestimmenden Faktoren siehe die Lehrbücher der Vererbungswissenschaft (Anm. 108). Neuerdings hat Goldschmidt sehr wertvolle Untersuchungen darüber am Schwammspinner ververöffentlicht, die auch abgesehen von diesem direkten Problem ein größeres allgemeines Interesse haben. Nach G.'s Ergebnissen der Bastardierung verschiedener Rassen des genannten Schmetterlings ist es nämlich nicht unwahrscheinlich, daß für das männliche bzw. weibliche Geschlecht je ein bestimmtes Enzym maßgebend ist, das G. sich als Bestandteil des sog. Geschlechtschromosoms denkt. G. schließt dies vor allem daraus, daß der Vorgang der Formbestimmung in dieser Hinsicht dem sog. chemischen „Massenwirkungsgesetz" zu unterliegen scheint. Das Nähere s. b. Goldschmidt selbst, („Mechanismus u. Physiologie der Geschlechtsbestimmung, Borntraeger, Berlin 1920", Harnackfestnummer der Naturw. 1921, 18). Referat Naturw. Wochschr. 1921, 22. Ausführliches Referat über den gegenwärtigen Stand des ganzen Problems bei G. Hertwig, Biolog. Zentralblatt, 1921, Nr. 1/2.

Anm. 139, S. 340. Abbildungen bei Weismann l. c.

Anm. 140, S. 340. Die Literatur über den Darwinismus ist unübersehbar. Die große Mehrzahl der heutigen Forscher steht ihm sehr kritisch gegenüber. Für

ihn treten noch vor allem L. Plate (Lit.-Verz.) und neuerdings der Mathematiker Study ein (s. Naturwissenschaften, 1920, 1921). Auch der Zoologe Hesse beurteilt die Selektionslehre im ganzen noch ziemlich günstig. Gänzlich abweisend stehen ihr z. B. die de Vriessche Schule, die Mendelforscher, sowie die Neu-Lamarckisten (O. Hertwig, Driesch, Pauly, Reinke, Dennert u. a.) gegenüber. Die beste zusammenfassende Darstellung der ganzen Abstammungsfrage überhaupt ist nach meinem Dafürhalten R. Hertwigs Artikel in dem Bande „Abstammungslehre usw." der „Kultur der Gegenwart", s. d. Lit.-Verz.

Anm. 141, S. 341. Bueckers, Die Abstammungslehre (Leipzig, Quelle u. Meyer, 1909). B. ist Anhänger der de Vriesschen Schule.

Anm. 142, S. 345. Siehe z. B. bei Goldschmidt, Vererbungswissenschaft (2. Aufl., S. 78 ff.).

Anm. 143, S. 346. Dies Beispiel einer vernichtenden Kritik der Mimikrylehre aus Piepers: „Mimikry, Selektion u. Darwinismus" (Leyden 1907). Neuerdings hat Study (Naturwissenschaften, 1919, Heft 21—23) in die Diskussion eingegriffen. Über die Frage des Mimikryschutzes der Insekten hat noch kürzlich (1920) eine lange Diskussion in der Naturw. Wochenschr. stattgefunden (Dahl, Heikertinger u. a.).

Anm. 144, S. 347. Wichtige neue Untersuchungen über direkte Farbenveränderungen durch Kälte hat W. Schultz veröffentlicht (Arch. f. Entw.-Mech., Bd. 47, Heft 1/2).

Anm. 145, S. 355. Aus diesem Grunde allein dürften Aufstellungen wie die von Spengler (Untergang des Abendlandes) heute noch völlig verfrüht sein, abgesehen von den offensichtlichen Vergewaltigungen des Sachverhalts, so z. B. in der Gegenüberstellung der antiken und modernen Mathematik. Ähnlich wie Spengler versucht Frobenius, jedoch mehr im Hinblick auf die von ihm erforschten Primitivvölker den Gedanken der „Kulturseelen" durchzuführen („Paideuma", München, L. H. Beck, 1921). Eine zusammenfassende Darstellung des Standes der „Allgemeinen Völkerkunde" bei A. Heilborn (Teubner, Leipzig 1915).

Anm. 146, S. 355. Eine zusammenfassende kritische Darstellung unserer heutigen Kenntnis vom Urmenschen hat kürzlich E. Werth gegeben im 10. Bande der Prähistorischen Zeitschrift. Etwas älter ist die Darstellung von Branca, „Der Stand unserer Kenntnisse vom fossilen Menschen". Ganz neuerdings hat A. Heilborn aus dem Nachlaß von H. Klaatsch ein Werk herausgegeben: „Der Werdegang der Menschheit und die Entstehung der Kultur" (Deutsches Verlagshaus, Berlin, Bong u. Cie., 1921), das fast das gesamte Material sowohl aus der Urgeschichte wie auch aus den zum Vergleich heranzuziehenden ethnologischen Forschungen enthält.

Anm. 147, S. 360. Eine hübsche Darstellung bei A. Stiegelmann, „Altamira, ein Kunsttempel des Urmenschen" (Naturw. Verlag, Detmold).

Anm. 148, S. 363. Siehe seine Darstellung in den Vorträgen über dieses Thema (Lit.-Verz.) und in dem in Anm. 146 genannten Werk.

Anm. 149, S. 364. Naturwissenschaften, 1921, Heft 8.

Anm. 150, S. 365. Die morphologische Abstammung des Menschen, Kritische Studie über die neueren Hypothesen. Stuttgart 1908.

Anm. 151, S. 366. In neuerer Zeit sind mehrfach genauere Schätzungen der Zeitdauer der einzelnen Perioden der Eiszeit von Penck, de Geer, Olbricht, Werth u. a. unternommen worden. Siehe z. B. Naturw. Wochenschr. 1921, 2, 15.

Anm. 152, S. 369. Siehe die in Anm. 109 genannten Bücher über Tierpsychologie.

Anm. 153, S. 371. Dieser Gedanke ist in neuester Zeit sehr eindringlich und schlagend durch W. Köhler klargestellt worden (s. Anm. 36), auf dessen Buch hier verwiesen sei. K. zeigt insbesondere, daß die Aufweisung der „Gestaltung" schon in der anorganischen Welt das psychophysische Problem zwar nicht löst, aber doch um eine ganze Stufe zurückschiebt, insofern jetzt das gestaltete Geistige wenigstens nicht mit einem chaotischen Physischen (Molekularbewegungen usw.), sondern einem selbst schon gestalteten Physischen in Zusammenhang zu bringen ist.

Anm. 154, S. 375. H. Poincaré, „Letzte Gedanken" (übers. von W. Ostwald), nachgelassenes Werk, bei Teubner, Leipzig, erschienen.

Anm. 155, S. 375. S. dar. z. B. Krapotkin „Gegenseitige Hilfe in der Entwicklung", Thomas, Leipzig 1903.

Anm. 156, S. 378. Wenn E. Becher nur von der „Hypothese der realen Außenwelt" spricht, so macht er m. E. dem erkenntnistheoretischen Idealismus schon eine zu große Konzession. Die ganze Grundthese, von der dieser ausgeht, daß wir nämlich nur des eigenen Bewußtseinsinhalts unmittelbar gewiß seien, ist schon falsch, wenn man dabei stillschweigend die beiden ersten Wörter „eigen" und „Bewußtsein" allein betont und den „Inhalt" verschwinden läßt. Tatsächlich gibt es überhaupt keinen Erkenntnisakt, weder eine einfache Wahrnehmung noch ein kompliziertes Urteil, in dem nicht eo ipso ein transcendent Reales gesetzt würde. Die „Welt" braucht nicht erst aus dem Bewußtseinsinhalt „erschlossen" zu werden, sondern ihre reale Existenz ist mit diesem Inhalt zugleich selbstverständlich gegeben. Zu bestimmen bleibt bloß ihre nähere Beschaffenheit. Wie psychologisch betrachtet zweifellos das Subjekt nur am Objekt zum Bewußtsein seiner selbst erwacht, so hat auch erkenntnistheoretisch-logisch angesehen der ganze Begriff des Immanenten gar keinen Sinn, wenn ihm nicht von Anfang an das „Transcendent" zur Seite gestellt wird. So widerspricht der reine Idealismus sich selbst, insofern er den Begriff, von dem er ausgehen will, gar nicht vollziehen könnte, wenn nicht die reale Welt da wäre, auf die alle bewußtseinsimmanenten Inhalte abzielen. Leser, die weiter in dies Gebiet eindringen wollen, seien auf die im Literaturverzeichnis angeführten Schriften von Hartmann, Külpe, Meinong, E. Becher, Messer und auf L. Nelsons Darlegungen über die „Unmöglichkeit der Erkenntnistheorie" hingewiesen.

Literaturverzeichnis.

Allgemeines.

Einleitungen in die Philosophie von Cornelius, Külpe, Paulsen, Riehl, Wundt u. a.

Cassirer, Erkenntnistheorie und Logik in den „Jahrbüchern der Phil.". Herausgegeben von Frischeisen-Köhler, Berlin 1913. Dort auch viele weitere Literaturangaben.

Cohen, Logik des reinen Erkennens. Berlin 1902.

Driesch, Die Logik als Aufgabe. Tübingen 1913.

—, Ordnungslehre. Jena 1912.

—, Wissen und Denken. Reinike, Leipzig 1919.

Comte, Die positive Philosophie. Leipzig 1883.

Geyser, J., Grundlegung der Logik und Erkenntnistheorie. Münster 1919.

Hartmann, Ed. v., System der Philos. im Grundriß. Haacke, Leipzig.

—, Das Grundproblem der Erkenntnistheorie. Haacke, Leipzig. 1889.

—, Krit. Grundlegung des transc. Realismus. Haacke, Leipzig. 1875.

—, Kategorienlehre. Haacke, Leipzig. 1896.

Heymanns, Einf. in die Metaphysik auf Grund der Erf. Leipzig 1905.

Höfler, Logik. 1890.

Husserl, Logische Untersuchungen. 2 Bde. 2. Aufl. Halle 1913.

Koppelmann, Untersuchungen zur Logik der Gegenwart. Reuther und Reichard, Berlin 1913.

Külpe, Die Realisierung. Bd. I. Leipzig 1912.

Liebmann, Zur Analysis der Wirklichkeit. 4. Aufl. Straßburg 1911.

Mach, E., Die Analyse der Empfindungen. 5. Aufl. Jena 1906.

—, Pop.-Wiss. Vorlesungen. 3. Aufl. Leipzig 1903.

—, Erkenntnis und Irrtum. 2. Aufl. Leipzig 1906.

Meinong, Untersuchungen zur Gegenstandstheorie u. Psychol. Leipzig 1904.

—, Über Annahmen. Leipzig 1902.

—, Die Erfahrungsgrundlagen unseres Wissens. Berlin 1906.

—, Zahlreiche Beitrage in Ebbinghaus, Zeitschr. f. Psychol., vor allen: „Über Gegenstände höh. Ordnung". 1899.

Messer, Einf. in die Erkenntnistheorie. Leipzig 1909.

Müller, Al., Wahrheit und Wirklichkeit. Bonn 1913.

Nelson, Über das sog. Erkenntnisproblem. Abh. der Friesschen Schule. N. F. II. 4. Göttingen 1908.

Schlick, Allgemeine Erkenntnislehre. Springer, Berlin 1918.

Sigwart, Logik. 2 Bde. 3. Aufl. Tübingen 1904.

Vaihinger, „Philos. des Als Ob". 2. Aufl. Berlin 1913.

Verweyen, Philos. des Möglichen. Leipzig 1913.

Wundt, Logik. 2 Bde. 3. Aufl. Stuttgart 1906 und 1907.

Ziehen, Erkenntnistheorie auf psychophysiologischer und physikalischer Grundlage. Jena 1913.

Naturphilosophie, naturwissenschaftliche Erkenntnistheorie (hauptsächlich zu Teil I).

Apelt, Theorie der Induktion. Leipzig 1854.

Atomistik, s. Anm. 5.

Bauch, Studien zur Phil. der exakten Wissenschaften. Heidelberg 1911.

Becher, Die phil. Voraussetzungen der exakten Wissensch. Leipzig 1907.

—, Naturphilosophie aus „Kultur der Gegenwart". Teubner, Leipzig 1914.

—, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung. Berlin 1915.

Bonola-Liebmann, Die nichteuklidische Geometrie (Wiss. u. Hypothese). Teubner, Leipzig 1919.

Classen, Vorlesungen über moderne Naturphilosophen. Hamburg 1909.

—, Die Prinzipien der Mechanik bei Hertz und Boltzmann. Hamburg 1898.

Cohn, Voraussetzungen und Ziele des Erkennens. Leipzig 1908.

Couturat, Die phil. Prinz. der Mathematik. Übers. v. Siegel. Phil.-soz. Bücherei, VII. Leipzig 1908.

Dingler, Die Grundlagen der Naturphilosophie. Verlag Unesma, Leipzig 1913.

Du Bois-Reymond, P., Metaphysik u. Theorie der math. Grundbegriffe. Tübingen 1882.

Drude, Die Theorie in der Physik, Antrittsvorlesung. Leipzig 1895.

Duhem, L'évolution de la Mécanique, (Rev. gén. d. Sc. 1903. 15. März) u. a. s. bei Rey.

—, Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Übers. v. Adler. Leipzig 1908.

Einstein, Geometrie und Erfahrung. Springer, Berlin 1921.

Erdmann, Die Axiome der Geometrie. Leipzig 1877.

—, Über Inhalt und Geltung des Kausalgesetzes. Halle 1905.

Enriques-Grelling, Probleme der Wissenschaft. 2 Bde. (Wiss. u. Hypoth.) Teubner, Leipzig 1910.

Exner, Vorlesungen über die phys. Grundlagen der Naturw. Deuticke, Wien 1920.

Frischeisen-Köhler, Wissenschaft und Wirklichkeit. (Wiss. u. Hypoth.) Teubner, Leipzig 1912.

Frost, Naturphilosophie. Leipzig 1910.

Gehrcke, Physik u. Erkenntnistheorie. Teubner, Leipzig 1921.

Geissler, Die Grundzüge und das Wesen des Unendlichen in Math. und Phil. Teubner, Leipzig 1902.
Görland, Die Hypothese. („Wege zur Phil." Nr. 4.) Göttingen 1911.
Gutberlet, Naturphilosophie. Münster 1913.
Hartmann, E. v., Die Weltanschauung der mod. Physik. 2. Aufl. Leipzig 1902.
—, Grundriß der Naturphilosophie. Sachsa 1907.
Helm, Die Energetik nach ihrer gesch. Entw. Leipzig 1898.
Helmholtz, Vorträge und Reden. 5. Aufl. Braunschweig 1903.
Heymanns, Die Gesetze und Elemente des wiss. Denkens. Leipzig 1894.
—, Über Erklärungshypothesen und Erklären überhaupt. (Ann. d. Nat. Phil. I.)
Hilbert, Grundlagen der Geometrie. 5. Aufl. Teubner, Leipzig 1921.
Höfler, Studien zur gegenwärtigen Phil. der math. Mechanik. Leipzig 1900.
—, Zur gegenwärtigen Nat. Phil. Springer, Berlin 1904.
—, Zahlreiche Abhandlungen, insbes. in der Zeitschr. phys.-chem. Unters. Vgl. auch den „Logischen Anhang" seines großen Lehrbuches der Physik.
Hönigswald, Zur Kritik der Machschen Philos. Berlin 1903.
—, Naturphilosophie. (Jahrb. d. Phil.) Berlin 1913. Woselbst weitere Literatur.
Isenkrahe, Das Endliche im Unendlichen. Münster 1915.
Klein, F., Vorlesungen über Differentialgeometrie. Teubner, Leipzig 1905.
Kleinpeter, Die Erkenntnistheorie der Naturforschung der Gegenwart. Leipzig 1905.
—. Hertz' und Machs Auffassung der Physik. (Arch. f. syst. Phil. V, 2; 1899.)
—, Zur Formulierung des Trägheitsgesetzes. (Ebenda VI, 4; 1900).
—, Der Phänomenalismus. Leipzig 1913.
König, Die Entwicklung des Kausalproblems. 2 Bde. 1880 und 1890.
—, Kant und die Naturwissenschaft. („Die Wissenschaft". Bd. 22.) Braunschweig 1907.
—, Das Wesen der Materie. Göttingen 1911.
Keyserling, H. Graf, Prolegomena zur Nat. Phil. München 1910.
Külpe, Erkenntnistheorie und Naturwissenschaft. (Vortrag a. d. Natf. Vers. z. Königsberg 1910.) Leipzig 1911.
Lehmann, O., Das „Als ob" in Molekularphysik. Siehe Anm. 5.
Lipsius, Naturphilosophie und Weltanschauung. Kröner, Leipzig 1918.
Lipps, Naturwissenschaft und Weltanschauung. (Vortrag a. d. Natf Vers. zu Stuttgart 1906.)
Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 5. Aufl. Leipzig 1904.
—, Prinzipien der Wärmelehre. 2. Aufl. Leipzig 1900.
—, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Prag 1872.
Muller, Al., Das Raumproblem. Vieweg, Braunschweig 1911. Siehe Anm. 27.
Natorp, Die log. Grundlagen der exakten Wissensch. Leipzig 1910. U. a. m.
Ostwald, Vorlesungen über Nat. Phil. 3. Aufl. Leipzig 1905.
—, Vorträge und Abhandlungen. Leipzig 1904.

Ostwald, Zahlreiche Abhandlungen in verschiedenen Zeitschriften, vor allem in den von ihm herausgeg. „Ann. d. Nat. Phil."
—, Grundriß der Nat. Phil. Leipzig 1908.
Petzoldt, Das Weltproblem vom Standpunkt des rel. Positivismus. 2. Aufl. Leipzig 1912.
—, Das Gesetz der Eindeutigkeit. (Vierteljahrsschr. f. wiss. Phil. XIX., 146.)
v. d. Pfordten, Vorfragen der Nat. Phil. Heidelberg 1907.
Picard, Das Wissen der Gegenwart in Math. u. Naturw. Leipzig 1913.
Planck, Die Stellung der neueren Physik zur mech. Naturauffassung. Leipzig 1910.
—, Das Prinzip der Erhaltung der Energie. (Wiss. u. Hypoth. 4. Aufl.) Teubner, Leipzig 1921.
—, Die Einheit des physik. Weltbildes. Leipzig 1909.
—, Zur Machschen Theorie der physik. Erkenntnis. (Vierteljahrsschr. f. wiss. Phil. 1910.)
Poincaré, H., Exper. und math. Physik. (Pariser Kongreß 1900.)
—, Wissenschaft und Hypothese. (Deutsch v. Lindemann. 2. Aufl.) Leipzig 1906.
—, Der Wert der Wissenschaft. (Deutsch v. Weber.) Leipzig 1906.
—, Letzte Gedanken. Übers. von Ostwald. Akad. Verl.-Ges., Leipzig 1913.
Poske, Die Hypothese in Wissenschaft und Unterricht. (In der von ihm herausgeg. und noch zahlreiche andere Aufsätze von ihm enthaltenden Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. 1912, 1.) Vgl. auch Anm. 29.
Potonié, Naturphilosophische Plaudereien. Fischer, Jena 1913.
Relativitätstheorie s. Anm. 58.
Rey, Die Theorie in der Physik. Übers. von Eisler, Leipzig 1908.
Rickert, Kulturwissenschaft und Naturwissenschaft. 2. Aufl. Tübingen 1910.
Rosa, Der Äther, Geschichte einer Hypothese. Leipzig 1912.
Stallo-Kleinpeter, Die Begriffe und Theorien der mod. Physik. Leipzig 1901.
Study, Die realistische Weltansicht und die Lehre vom Raum. Braunschweig 1914.
Verweyen, Naturphilosophie. (Aus Natur u. Geisteswelt.) Teubner, Leipzig 1915.
Verworn, Über kausale und konditionale Weltanschauung. Bonn 1912.
Volkmann, Erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturw. Leipzig 1896.
—, Einführung in das Studium der theoretischen Physik. Leipzig 1900.
Voß, Über die mathematische Erkenntnis (in „Kultur der Gegenwart"). Leipzig 1914.
Weinstein, Die philosophischen Grundlagen der Wissenschaft. Leipzig 1906.
Wiener, Die Erweiterung unserer Sinne. (Antrittsvorl.) Leipzig 1900.
—, Physik und Kulturentwicklung. Teubner, Leipzig 1918.
Wien, Vorträge.
Wundt, Prinzipien der mechanischen Naturlehre. Stuttgart 1910.

Teil II.

Arrhenius, Lehrbuch der kosmischen Physik. Hirzel, Leipzig 1903.
—, Das Werden der Welten. Akad.-Verl.-Ges., Leipzig 1913.
Astronomie aus Kultur der Gegenwart. Herausgeg. von J. Hartmann. Teubner, Leipzig 1915.
Auerbach, Die Weltherrin und ihr Schatten. 2. Aufl. Jena 1913.
Classen, Das Entropiegesetz. Naturw. Verlag, Detmold 1910.
Credner, Elemente der Geologie. Engelmann, Leipzig 1916. 10. Aufl.
Gockel, Schöpfungsgeschichtliche Theorien. 2. Aufl. Köln 1910.
Isenkrahe, Energie, Entropie, Weltanfang, Weltende. Trier 1910.
Meisel, Wandlungen des Weltbildes und des Wissens von der Erde. Stuttgart 1913.
Newcomb-Engelmann, Populäre Astronomie. 5. Aufl. Engelmann, Leipzig 1914.
Oppenheim, Probleme der modernen Astronomie. Teubner, Leipzig 1911.
Plaßmann, Himmelskunde. Freiburg 1913.
Schnippenkötter, Der entropologische Gottesbeweis. Marcus und Weber, Bonn 1920. (Siehe Anm. 78.)
Schwarzschild, Über das System der Fixsterne. Teubner, Leipzig 1920. (Sonderdruck.)
Voigt, Eis ein Weltenbaustoff. (Populäre Darstellung der Hörbiger-Fauthschen Glazialkosmogonie.) Paetel, Berlin 1920.
Wallace, Die Stellung des Menschen im Weltall. 3. Aufl. Berlin 1904.
Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. 2. Aufl. Vieweg, Braunschweig 1920.
Weinstein, M. B., Entstehung der Welt nach Sage und Wissenschaft. Leipzig 1913.

Teil III und IV (Biologie, Abstammungslehre, Menschenproblem).

Abstammungslehre, 12 Vorträge von O. Abel usw. Fischer, Jena 1911.
— aus „Kultur der Gegenwart". Teubner, Leipzig 1914.
Baur, Einführung in die experim. Vererbungslehre. 2. Aufl. Berlin 1914.
Becher, E., Gehirn und Seele. Heidelberg 1911.
—, S., Seele, Handlung und Zweckmäßigkeit im Reich der Organismen. (Ann. d. Naturphil. 10, 1911.)
Bergson, „Schöpferische Entwicklung". Paris 1908. (Deutsch. Jena 1912.)
Beth, Der Entwicklungsgedanke und das Christentum. Gr.-Lichterfelde 1908.
Bölsche, Liebesleben in der Natur. Diederichs, Jena 1914.
Busse, Geist und Körper, Seele und Leib. Leipzig 1903.
Delage-Goldsmith, Die Entwicklungstheorie. Deutsch von Thesing. Thomas, Leipzig. (Gute Einführung.)
Dessoir, Vom Jenseits der Seele. Eine Kritik der Geheimwissenschaften. Stuttgart 1917.
Driesch, Philosophie des Organischen. Engelmann, Leipzig 1909.

Driesch, Der Vitalismus als Geschichte und Lehre. Barth, Leipzig 1906.
—, Leib und Seele. Reinicke, Leipzig 1916.

Dürken, Einführung in die Experimentalzoologie. Berlin 1919.

Eimer, Die Entstehung der Arten. Jena 1888—1901.

Goldschmidt, Einführung in die Vererbungswissenschaft. Engelmann, Leipzig 1921. 3. Aufl.

Haberlandt, Sinnesorgane im Pflanzenreich. Leipzig 1906.

Hauser, Der Mensch vor 100 000 Jahren. Brockhaus, Leipzig 1917.

Haecker, Allgemeine Vererbungslehre. 2. Aufl. Vieweg, Braunschweig 1912.

Heilborn, Allg. Völkerkunde. 2 Bdch. Teubner, Leipzig 1915.

Hering, Über das Gedächtnis als allg. Funktion der org. Materie. Wien 1870.

Hertwig, O., Allgem. Biologie. 2. Aufl. Fischer, Jena 1918.
—, Das Werden der Organismen. 2. Aufl. 1918.
—, R., Abstammungslehre in „Kultur der Gegenwart". Siehe oben. (Beste zusammenfassende Darstellung.)

Hesse, Abstammungslehre und Darwinismus. 4. Aufl. Teubner, Leipzig 1912.
—, Doflein, Tierbau und Tierleben. (Prachtwerk.) 2 Bde. Leipzig 1910—14.

Hoernes, Urgeschichte der bildenden Kunst. 2. Aufl. Wien 1915.

Jacobi, Mimikry und verwandte Erscheinungen. Braunschweig 1913.

Johannsen, Exper. Grundlagen der Desz. Theorie in „Kultur der Gegenwart". Teubner, Leipzig 1914.
—, Vererbungslehre. Teubner, Leipzig 1921.

Kern, Das Problem des Lebens. Hirschwald, Berlin 1909.

Klaatsch-Heilborn, Der Werdegang der Menschheit und die Entstehung der Kultur. Bong, Berlin 1921.

Klebs, Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen. Jena 1903.
—, Über das Verhältnis der Außenwelt zur Entwicklung der Pflanzen. Heidelberg 1913. Sitz.-Ber. d. Akad.

Köhler, Intelligenzprüfungen an Anthropoiden. Abh. d. Berl. Akad. d. Wissensch. 1917.

König, Das Leben, sein Ursprung und seine Entwicklung auf der Erde. 2. Aufl. Berlin 1905.

Kohlbrugge. Die morphologische Abstammung des Menschen. Stuttgart 1908.

Kraepelin, Einf. in die Biologie. 3. Aufl. Teubner, Leipzig 1912.

Krapotkin, Gegenseitige Hilfe im Tierreich. Thomas, Leipzig 1904.

Leduc-Gradenwitz, Das Leben in seinem physikalisch-chemischen Zusammenhang. Hochstätter, Halle 1912.

Lehmann, Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre. (A N. u. G.) Teubner, Leipzig 1913.

Leppelmann, Das Gesetz der Erh. der Energie und die versch. Auffassungen der Wechselwirkung zwischen Leib und Seele. Diss. Münster 1915.

Löb, Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig 1906.

Lotsy, Vorlesungen über Desz. Theorien. Fischer, Jena 1908.

Molisch, Populäre biologische Vorträge. Desgl. 1920.
Paläontologie, von O. Abel u. a. im Band „Abstammungslehre" der „Kultur der Gegenwart" s. o.
Pauly, Darwinismus und Lamarckismus. München 1905.
Plate, Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung. 4. Aufl. Leipzig 1913.
—, Vererbungslehre mit besonderer Berücksichtigung des Menschen. Leipzig 1913.
Ranke, Der Mensch. 2 Bde. 3. Aufl., Leipzig 1912.
Reinhardt, Der Mensch zur Eiszeit usw. 2. Aufl. München 1908.
Reinke, Einl. in die theoretische Biologie. 2. Aufl. Berlin 1911.
—, Grundzüge der Biologie. Salzer, Heilbronn 1909.
Schneider, Einf. in die Desz. Theorie. Fischer, Jena 1911. 2. Aufl.
—, Tierpsychologisches Praktikum. Leipzig 1902.
Schultz, Philosophie des Organischen. Jahrb. d. Phil. Berlin 1913, mit einem sehr ausführlichen Literaturverzeichnis.
Semon, Die Mneme. 3. Aufl. Leipzig 1911.
—, Das Problem der Vererbung erw. Eig. Leipzig 1912.
Stöhr, Der Begriff des Lebens. Heidelberg 1909.
Thesing, Experimentelle Biologie II. (ANuG.) Teubner, Leipzig 1911.
Verworn, die Mechanik des Geisteslebens. (ANuG.)
—, Die Anfänge der Kunst. Fischer, Jena 1920
Voß, Moderne Pflanzenzüchtung und Darwinismus. Naturw. Verlag Detmold 1913.
de Vries, Die Mutationstheorie. 2 Bde. Leipzig 1901 u. 1903.
— **Klebahn**, Arten und Varietäten. Berlin 1906.
Wasmann, S. J., Der Kampf um das Entwicklungsproblem Berlin. Freiburg 1907. Dagegen **Dahl**, Die Redeschlacht in Berlin. Jena 1908. siehe auch Nat. Wochenschr. 1908, S. 49, 161.
—, Die moderne Biologie und die Entwicklungstheorie. Freiburg 1904.
Weismann, Vorträge über Desz. Theorie. 2 Bde. Jena 3. Aufl. 1913.
Werth, Das Eiszeitalter. 2. Aufl. Berlin 1917.
Wolff, Mechanismus und Vitalismus. 2. Aufl. Leipzig 1905.
Wundt, Elemente der Völkerpsychologie. 2. Aufl. Kröner, Leipzig 1912.

Allgemeines über Weltanschauung.

Apel, Die Überwindung des Materialismus. Kopnik, Berlin 1909.
Dennert, Die Weltanschauung des modernen Naturforschers. Stuttgart 1906.
—, Weltbild und Weltanschauung. Hamburg (Detmold) 1908.
Drews, Der Monismus. 2 Bde. Jena 1908.
Eucken, Der Wahrheitsgehalt der Religion. 3. Aufl. Leipzig 1912. u. v. a.
Fechner, Zendavesta. Neuausgabe v. Fischer, Inselverlag Leipzig 1920.
Gomperz, Weltanschauungslehre. Jena 1905.

Gomperz, Das Problem der Willensfreiheit. Jena 1907.
Gutberlet, Theodizee. 4. Aufl. Münster 1909.
Haeckel, Die Welträtsel. Kröner, Leipzig.
—, Natürliche Schöpfungsgeschichte. 10. Aufl. Berlin 1902.
Jellinek, Das Weltengeheimnis. Enke, Stuttgart 1921. (Glänzend ausgestattet, theosophisch orientiert.)
Kern, Weltanschauung. Berlin 1900.
Koppelmann, Kritik des sittlichen Bewußtseins. Reuther u. Reichard, Berlin 1904.
—, Weltanschauungsfragen. Ebenda.
Lotze, Mikrokosmos. 5. Aufl. Leipzig 1909.
Mauthner, Der Atheismus und seine Geschichte im Abendlande. Dt. Verlags-Anst. Stuttgart 1920.
Messer, Glauben und Wissen, die Geschichte einer inneren Entwicklung. Reinhard, München 1919.
—, Natur und Geist. Philosophische Aufsätze. Osterwieck 1920.
Otto, Naturalistische und religiöse Weltansicht. Tübingen 1904.
—, Das Heilige. Göttingen 1917.
Österreich, Das Weltbild der Gegenwart. Mittler, Berlin 1920.
Pfannkuche, Relig. u. Naturwissenschaft im Kampf u. Frieden. (ANuG.) Teubner, Leipzig.
Reinke, Die Welt als Tat. 6. Aufl. Berlin 1915.
Schmidt, W., Der Kampf der Weltanschauungen. Berlin 1904.
Schwarz, Grundfragen der Weltanschauung. Leipzig 1902.
Unold, Organische und soziale Lebensgesetze. Leipzig 1906.
White, Geschichte der Fehde zwischen Wissenschaft und Theologie. Verl. d. naturw. Ges. Leipzig.

Geschichtliches.

Dacqué, Der Deszendenzgedanke und seine Geschichte vom Altertum bis zur Neuzeit. München 1903.
Dannemann, Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung. 4 Bde. Engelmann, Leipzig 1911—1913.
v. Hartmann, Geschichte der Metaphysik. Sachsa 1900.
Lange, F. A., Geschichte des Materialismus. 7. Aufl. Leipzig 1902.
Radl, Geschichte der biologischen Theorien. Leipzig. 1. Bd. 2. Aufl. 1913; 2. Bd. 1909.
Siegel, Geschichte der Naturphilosophie. Leipzig 1913.
Wagner, Geschichte des Lamarckismus. Stuttgart 1909.
Windelband, Geschichte der Philosophie. 2. Aufl. Tübingen 1900. Siehe auch Mach, Mechanik. L. Lange, Anm. 27.

Verzeichnis der Abbildungen und Quellennachweis.

M. N. = Moderne Naturkunde, Einf. in die gesamten Naturwissenschaften, herausgegeben vom Keplerbunde (Naturw. Verlag, Godesberg 1914, jetzt Detmold).

Teil I.

Teil II.

Teil III.

Teil IV.

Namenregister.

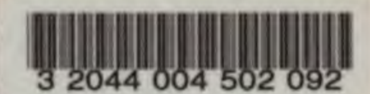
Die fettgedruckten Zahlen bezeichnen die Nummern der Anmerkungen.

Sachregister.

Die fettgedruckten Zahlen bezeichnen die Nummern der Anmerkungen.

Hofbuchdruckerei Rudolstadt

VERLAG VON S. HIR[...]



Die Gallen der Pflanzen. Ein Lehrbuch für Botaniker und Entomologen von ERNST KÜSTER. Mit 158 Abbildungen. Geheftet M. 48.—, gebunden M. 60.—.

Salpeter und sein Ersatz vo[...] nis[...]

Elektrische Spektralanalys[...] von J. STARK. Mit 4 Tafeln und 19 Figu[...] gebunden M. 22.50.

Änderungen der Struktur [...] chemischer Atome. Nobelvort[...] Stockholm[...]

Das Problem der Schwi[...] mit besonderer Berücksichtigung schneller [...] H. BARKHAUSEN. Mit 47 Abbildungen. [...]

Plancks elementares Wirk[...] zu seiner Messung. Von RUDOLF LADE[...]

Fliegerkraftlehre von OTTO W[...] Geheftet M. 2[...]

Lehrbuch der Hydrodynam[...]

Grundzüge der Schwachs[...] Studierende der Elektrotechnik und für [...] F. AMBROSIUS. Mit 146 Abbildungen. [...]

Der Lichtbogen als We[...] mit besonderer Berücksichtigung des Bo[...] Von K. WILLY WAGNER. Mit 44 Text[...]

Stabilität, Labilität und [...] Elektrotechnik von HANS B[...] Mit 69 Figuren. M. 18.—.

Die Strahlen der positiven Elektrizität von E. GEHRCKE. Mit 43 Figuren und 2 Tafeln. Geheftet M. 13.50, gebunden M. 16.50.

Der elektrische Lichtbogen von HERMANN TH. SIMON. Mit 31 Figuren und 1 Farbentafel. M. 6.—.

